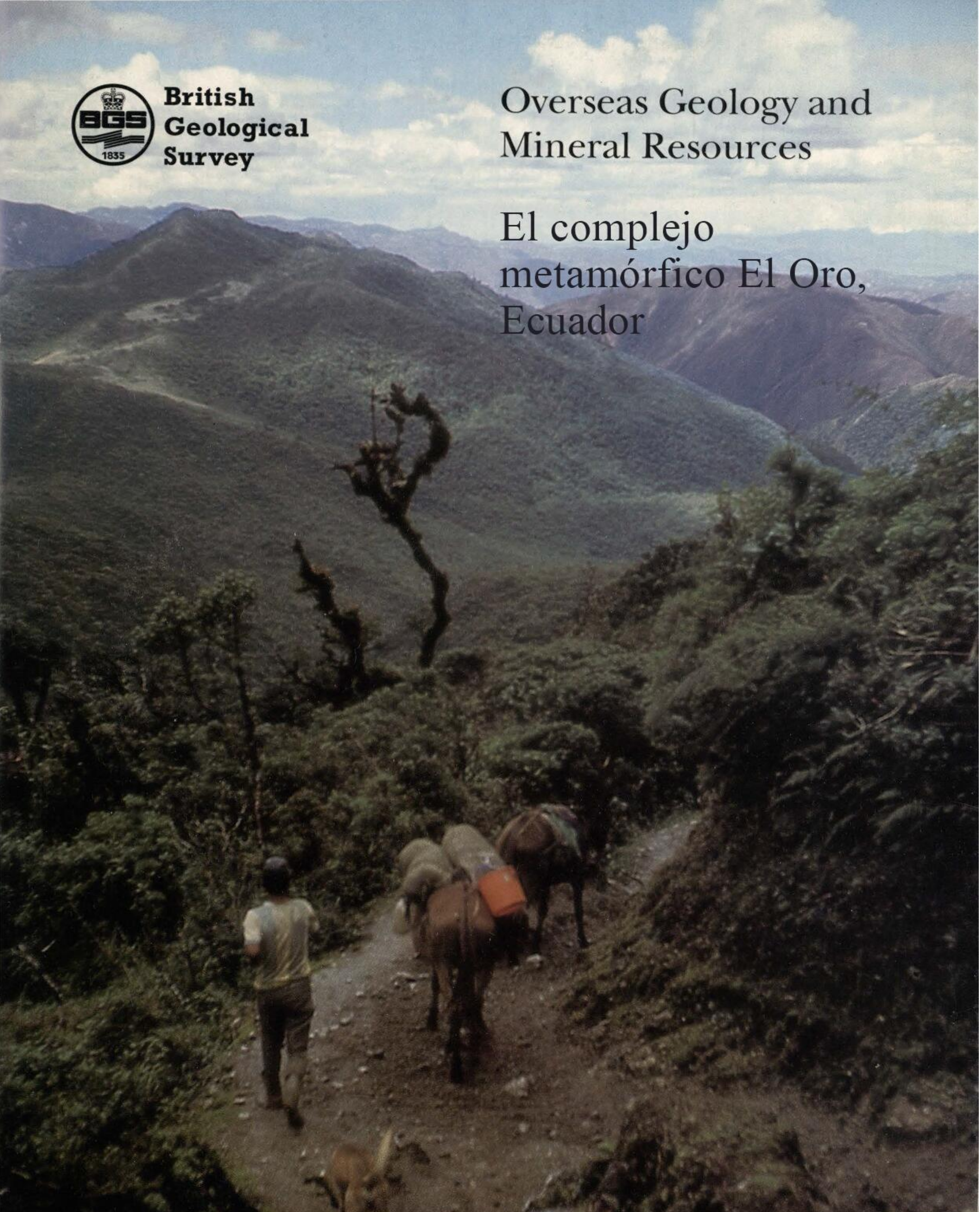

British
Geological
Survey
BGS
1835
Overseas Geology and
Mineral Resources
El complejo
metamórfico El Oro,
Ecuador

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY

Número 67

El complejo metamórfico El Oro, Ecuador: geología y depósitos minerales económicos

Overseas Geology and Mineral Resources

J. A. Aspden, W. Bonilla y P. Duque

COLABORADORES

Geoquímica de roca total

N. J. Fortey y M. G. Gillespie

Traducción al español

por Stalyn Paucar

Nota: La versión en inglés se encuentra en:

BGS – The El Oro metamorphic complex

SP – The El Oro metamorphic complex

Versión en español de 1993: El complejo metamórfico El Oro-1993

Stalyn Paucar

(stalyn314paucar161@outlook.es); (archive.org/details/@stalynpaucar)

Quito, 09 de mayo de 2021

First published 1995

ISBN 0 85 272242 7

Keyworth, Nottingham British Geological Survey 1995

Referencia bibliográfica

Aspden J. A., Bonilla W., and Duque P. (1995) The El Oro metamorphic complex, Ecuador: geology and economic mineral deposits [El complejo metamórfico El Oro, Ecuador: geología y depósitos minerales económicos]. *Overseas Geology and Mineral Resources*, No. 67. Traducción al español por Stalyn Paucar (2021).

Autores

J. A. Aspden
British Geological Survey
Keyworth
Nottingham NG12 5GG
United Kingdom

W. Bonilla
CODIGEM
Ministerio de Energía y Minas
Quito
Ecuador

P. Duque
Escuela Politécnica Nacional
Casilla 2759
Quito
Ecuador

Colaboradores
N. J. Fortey y M.G. Gillespie
British Geological Survey
Keyworth
Nottingham NG12 5GG
United Kingdom

Fotografía de Cubierta
Bosque nuboso atrofiado, sur del Ecuador
(*C. Mortimer, BGS*)

CONTENIDO

LÁMINAS

FIGURAS

TABLAS

MAPAS

El complejo metamórfico El Oro, Ecuador: geología y depósitos minerales económicos

J. A. Aspden, W. Bonilla y P. Duque

RESUMEN

El mapeo geológico de reconocimiento a escala 1:100000, respaldado por datos geocronológicos y geoquímicos de roca-total, han confirmado que el área de 2400 km^2 del complejo metamórfico El Oro, en el suroeste del Ecuador, consiste en ensambles/tipos de rocas de diferente edad, historia metamórfica, y de afinidad tanto continental como oceánica

Al sur de la falla Zanjón-Naranjo el elemento más antiguo del complejo (división semi-pelítica Tahuín) es probablemente del Paleozoico y consiste en turbiditas arcósicas. Durante el Triásico Tardío estas rocas fueron variablemente afectadas tanto por un evento de cizallamiento dextral transpresional como por metamorfismo regional tipo-Abukuma, cuya intensidad se incrementó notablemente hacia el (actual) norte. En este tiempo una suite de migmatitas y granitoides, predominantemente de características tipo-S, fue emplazada (complejo granitoide Moromoro) y estas rocas están espacial y temporalmente asociadas con magmas gabroicos derivados del manto y relativamente primitivos (complejo máfico Piedras).

Al norte de la falla Zanjón-Naranjo está la división mélange Palenque, una unidad heterogénea, regionalmente extensa, que consiste en una matriz de metasedimentos de bajo-grado (normalmente esquistos-verdes), la cual contiene una variedad de bloques kilométricos, limitados por fallas, como inclusiones tectónicas. Las litologías de muchas de estas inclusiones son idénticas a aquellas que se encuentran al sur de la falla Zanjón-Naranjo, sin embargo, otras como el ensamble esquistos azules/eclogita del complejo ofiolítico Raspas son claramente exóticas.

En conjunto, las rocas del complejo metamórfico El Oro son interpretadas como la representación de una porción de un complejo de prisma de acreción, el cual en cualquier parte de los Andes del Norte está mayormente enterrado por depósitos volcánicos jóvenes. En el Ecuador, el límite oriental de este complejo coincide con la falla Baños-Las Aradas, la cual también define el probable límite occidental autóctono de la Cordillera Real. Aunque ciertos elementos del complejo metamórfico El Oro pueden ser de sitios muy lejanos, otros como los granitoides/migmatitas Moromoro y las anfibolitas Piedras son considerados como una derivación local, debido a que pueden ser correlacionados con litologías similares descritas en la división Loja en la Cordillera Real.

También se realizó un muestreo rutinario de sedimentos fluviales, y los resultados obtenidos de 172 muestras, analizadas para 27 elementos más oro, se presentan como una fuente de información.

Dentro del mismo complejo metamórfico los minerales metálicos, que son de interés económico, son relativamente limitados, pero, vetas/*stringers* de cuarzo auríferos se encuentran en el Estero Sacachispas; lentes métricos de cuarzo con rodonita han sido reportados en el Estero Puerto Balsas y vetas de cuarzo con estibina son actualmente explotadas en Loma Larga. Adicionalmente, pequeñas cantidades de oro aluvial son trabajadas en el Río Naranjo y en sus tributarios del banco norte, y en menor medida en el Río Arenillas.

Hacia el contacto con el complejo volcano-plutónico del Terciario existe un número de ocurrencias polimetálicas que son activamente trabajadas, principalmente para el oro; siendo la más importante Portovelo/Zaruma en el Este. Recientes descubrimientos de mineralizaciones de oro en Cerro Pelado, inmediatamente al norte de las minas abandonadas El Antimonio y Guayabo, junto con operaciones de pequeña-escala en Los Ingleses, Cerro Azul, Daucay y Ligzhu, representan un importante potencial de la zona. El oro aluvial está muy extendido y el depósito Los Lilenes es trabajado comercialmente. Altos valores de oro en sedimentos fluviales (i.e. >10ppb y hasta >1000ppb) son comunes en todo este sector.

El feldespato (usado en la industria de la cerámica) y las arcillas para ladrillos son extraídos del plutón Marcabelí.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El Proyecto Cordillera Real, organizado por el Servicio Geológico Británico (BGS) y realizado por geólogos ecuatorianos y británicos durante el período de 1986-1993, fue un Programa de Cooperación Técnica bilateral entre los gobiernos del Ecuador (Instituto Ecuatoriano de Minería – INEMIN, ahora renombrado como Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico-Minero-Metalúrgico – CODIGEM, Ministerio de Energía y Minas) y del Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte (Overseas Development Administration – ODA).

La participación de ODA en los proyectos de desarrollo geológico del Ecuador empezó en 1969 y la primera misión residente fue establecida en Quito en 1972. Para complementar esta fase temprana, en 1980 cinco geocientistas de ODA y sus contrapartes ecuatorianas efectuaron un programa de investigación mineral y mapeo geológico sistemático en el occidente ecuatoriano, lo que resultó en la publicación de cuatro mapas geológicos a escala 1:25000, cuatro a 1:50000, 51 a 1:100000 y una versión actualizada del mapa geológico nacional a escala 1:1000000.

El Proyecto Cordillera Real empezó en marzo de 1986 en respuesta a una necesidad estratégica del Ecuador para establecer una base de datos geológica/mineralógica idónea que atraiga a la inversión extranjera y ayude a establecer una industria minera adecuada. Consecuentemente, estudios geológicos y mineralógicos sistemáticos se extendieron hacia el Este para cubrir la Cordillera Real. En 1990 el Programa de Cooperación Técnica fue ampliado para incluir un mapeo geológico de reconocimiento y el muestreo de sedimentos fluviales en el complejo metamórfico El Oro. Este Proyecto, realizado entre junio de 1990 y marzo de 1993, es el tema del presente reporte.

Además de los resultados geológicos, geoquímicos y geocronológicos presentados en este reporte, la colección de rocas del Proyecto y unas 400 láminas delgadas han sido donadas, para fines educativos, al Profesor Pablo Duque de la Escuela Politécnica Nacional, Quito. Este material está disponible para su estudio para aquellos interesados.

Descripción de la zona

Como se muestra en el mapa acompañante, el complejo metamórfico el Oro se ubica en el suroeste del Ecuador, inmediatamente al este de la región de Tumbes. El límite con Perú está en disputa. El complejo aflora principalmente en la provincia de El Oro, pero se extiende hacia el sur del Río Puyango/Pindo, y hacia el Oeste en el Perú. Hacia el este en dirección a El Cisne (Figura 1), se extiende dentro de la provincia de Loja.

Los márgenes del complejo son irregulares, su principal afloramiento cubre una zona de alrededor de 2400 km^2 y aproximadamente está limitada en el sur y norte por las latitudes 3°18'S y 3°55'S y en el este y oeste por las longitudes 79°25'W y 80°10'W.

El clima es en gran parte determinado por el efecto de la altitud; la cual está generalmente bajo los 1500m, pero varía desde menos de 100m en el norte y oeste hasta más de los 3000m en el extremo oriental; y por la contrastable influencia de las corrientes de Humboldt y El Niño. En los veranos normales, la fría, de alta-salinidad corriente de Humboldt del sur del Pacífico, se desplaza hacia el norte entre mayo y noviembre y produce masas de aire frías, en condiciones mayormente nubladas. La precipitación a veces cae como llovizna y la lluvia decrece desde los altos terrenos en el este hacia el sur y oeste, donde prevalecen las condiciones secas a semi-áridas. En el invierno (diciembre-junio), la influencia de la corriente cálida de El Niño es dominante, el aire saturado en agua cubre la región y produce torrenciales aguaceros, intercalados con cielos despejados. Son comunes las inundaciones y los deslizamientos de tierra, la humedad es alta y los insectos abundan, especialmente en las partes bajas occidentales cercanas a Perú. Las condiciones de campo durante este periodo son, a veces, difíciles y desagradables.

En elevaciones más altas, alrededor de Chilla y El Cisne (Figura 1), partes del bosque-nuboso atrofiado son remanentes en las pendientes más empinadas, pero en otros sitios, gran parte del bosque tropical a semi-árido original ha sido eliminado para dar acceso a la agricultura. Los pastizales y/o matorrales son ahora dominantes, particularmente en las secciones más secas del oeste y sur. Datos climáticos de la región se reportan en la Tabla 1.

La agricultura es en extremo importante, especialmente en la llanura costera al norte y oeste. La provincia de El Oro es la principal productora ecuatoriana de banano para la exportación y la segunda más importante productora nacional de camarones, los cuales son copiosamente criados a lo largo de la costa. Muchos de los ranchos de ganado están localizados en los cerros bajos, inmediatamente alrededor de la llanura costera. Al sur y oeste de Arenillas las condiciones secas prevalecen y existen planes para irrigar esta zona usando la recientemente construida represa Tahuín (Figura 1).

Tierra adentro, las pendientes a veces son empinadas y las granjas suelen ser pequeñas, con mucha de la agricultura en un nivel sólo para la subsistencia. La cría de ganado es dominante, pero en las zonas más áridas también se cuida de las cabras. En la zona semi-árida El Prado se producen piñas en abundancia, pero donde la lluvia lo permite, el café y cacao son importantes cultivos comerciales, así también los tomates y los pimientos en el oeste. Además, se cultivan grandes cantidades de banano, maíz, frutos cítricos, caña de azúcar, y pequeñas cantidades de soya y maní. Alrededor de Balsas la avicultura es de importancia local.

Los grandes centros poblados (Pasaje, Santa Rosa y Arenillas, Figura 1) están ubicados a lo largo de la llanura costera. Machala, la capital de la provincia, es el principal centro financiero, militar y administrativo de la región. También es un importante puerto, particularmente para la exportación de banano y camarón. El pueblo fronterizo de rápida expansión, Huaquillas, en el oeste, es un centro comercial de importancia local y nacional, debido a que proporciona el único camino entre Ecuador y Perú.

Además de la industria agrícola, la minería del oro es también de considerable importancia económica. La principal producción de *roca-dura* viene de los distritos Zaruma/Portovelo y Ayapamba, y los recientes descubrimientos al sur de Bella María en la zona de Cerro Pelado (Figura 1) también son explotados. En Bella María (Los Lilenes), actualmente Ecuminas/ODIN trabaja en gravas auríferas.

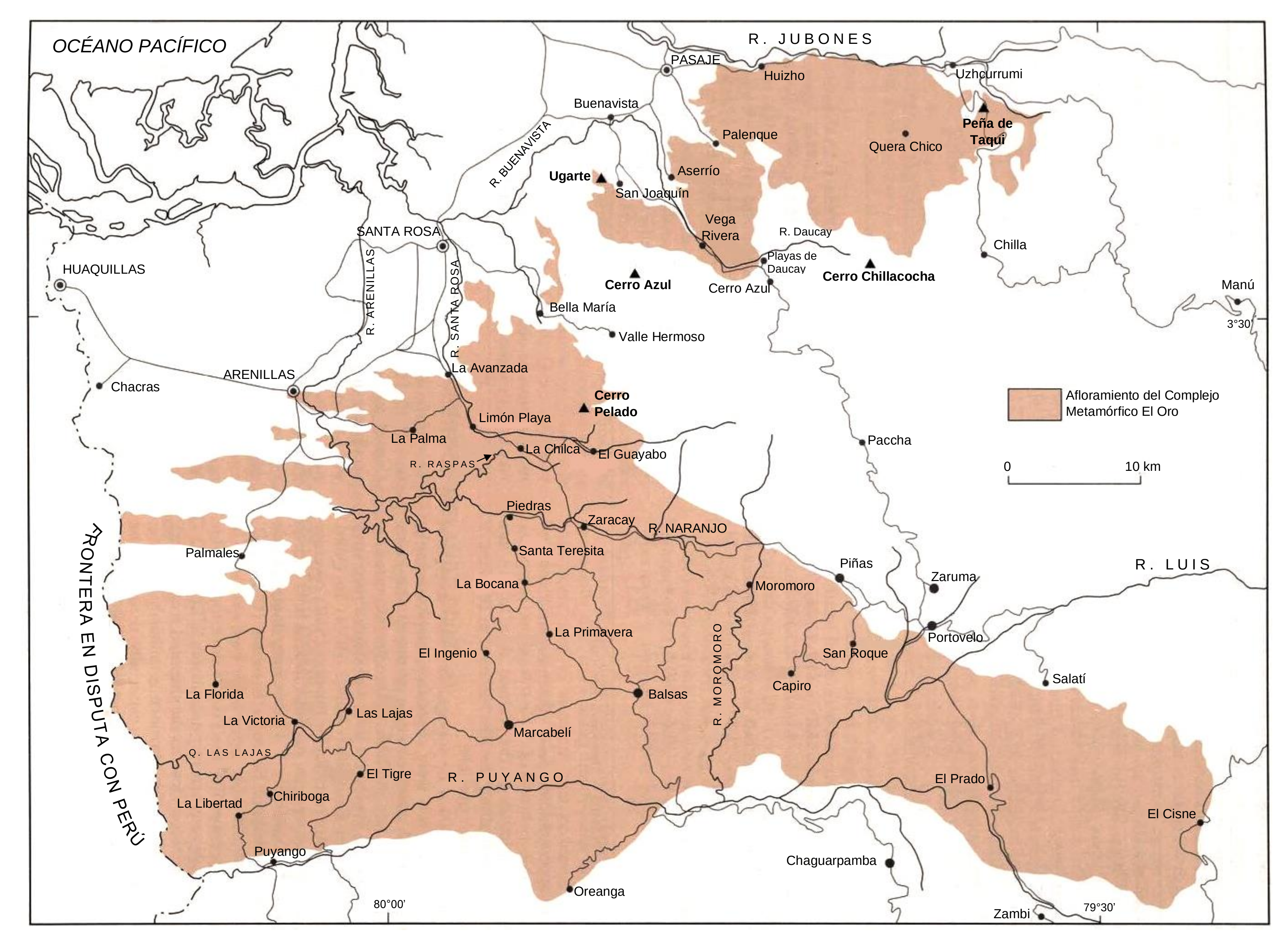


Figura 1. Mapa de ubicación

Tabla 1. Datos climáticos de la provincia de El Oro*

	Ene	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sept	Oct	Nov	Dec
PRECIPITACIÓN (mm)												
ESTACIÓN MARCABELÍ												
prom.	190	286.3	322.6	275.7	107.7	40.6	7.8	9.4	71.1	21.4	30.2	117.4
mín.	31.8	73.6	41.0	40.0	-	-	-	-	-	-	-	-
máx.	540.4	555.3	674.4	682.9	303.6	208.4	46.9	31.1	51.1	91.0	187.4	742.9
ESTACIÓN SANTA ROSA												
prom.	92.4	149.0	148.4	73.5	24.7	12.5	17.8	11.3	15.1	18.6	51.0	23.5
mín.	2.1	2.6	-	17.9	-	-	1.5	-	7.6	-	-	-
máx.	466.5	377.5	252.5	149.0	64.3	33.3	107	24.8	24.6	57.1	300.5	113.9
ESTACIÓN ZARUMA												
prom.	212.4	237.0	307.4	221.8	108.9	25.4	6.8	6.5	25.7	40.5	34.7	142.9
mín.	48.5	88.8	106.3	37.8	-	-	-	-	-	1.9	-	5.4
máx.	361.1	441.0	552.3	484.2	336.2	99.1	27.5	35.6	108.0	143.3	156.1	347.2
TEMPERATURA (°C)												
ESTACIÓN MARCABELÍ												
prom.	23.2	24.2	24.2	23.2	22.7	23.2	22.8	22.1	22.2	22.2	22.9	23.1
mín.	23.2	23.8	23.7	23.2	22.7	22.0	22.0	21.4	22.2	22.0	22.4	22.6
máx.	23.2	24.5	24.6	23.2	22.7	24.4	23.6	22.9	22.2	22.5	23.4	23.6
ESTACIÓN SANTA ROSA												
prom.	25.8	25.9	26.3	26.4	26.0	25.3	25.0	25.5	24.2	26.2	25.3	25.2
mín.	25.2	25.3	25.8	25.7	25.7	24.0	24.2	-	-	-	-	-
máx.	26.3	26.8	26.8	27.3	26.6	26.1	26.2	26.0	24.3	26.2	25.4	26.2
ESTACIÓN ZARUMA												
prom.	21.2	21.2	21.4	21.5	21.4	21.3	21.7	22.2	22.4	22.1	22.2	21.9
mín.	19.6	19.9	20.3	20.7	20.5	20.0	20.2	21.3	21.8	20.4	20.6	20.6
máx.	21.9	23.2	22.6	22.1	22.3	22.2	22.9	23.2	23.7	23.2	23.4	23.1

*Datos proporcionados por INAMHI – División de Informática

Acceso y cobertura del mapa

Comparado con otras partes del Ecuador, aquí existe una relativamente densa red de vías y senderos que proveen un razonable acceso a los carros de doble tracción. La carretera pavimentada-de toda estación Pasaje-Cuenca se encuentra a lo largo de los tramos más bajos del valle del Río Jubones y rodea el límite norte del Complejo metamórfico El Oro. Hacia el sur desde Pasaje, este camino continúa, vía Santa Rosa y Arenillas, hasta Huaquillas. Hacia el sur desde Arenillas, la generalmente vía de toda estación Alamor cruza la parte meridional del complejo metamórfico. Desde Zaracay, (vía Santa Rosa y la Avanzada), dos carreteras de toda estación-parcialmente pavimentadas dirigen hacia Loja, una vía Piñas/Portovelo y la otra vía Balsas/Chaguarpamba. Además de estos caminos arteriales mayores, existen numerosas rutas secundarias-no pavimentadas-transitables para automotores, algunas de las cuales se muestran en la Figura 1. Éstas son variablemente mantenidas y pueden resultar impasables durante una fuerte lluvia. En el este, entre Chilla y Pasaje, y en la zona de El Cisne-Prado-Salati, el acceso por camino es limitado, pero estas partes tienen una moderada red de mulas de carga y senderos. Desde la terminación de la represa Tahuín en los tardíos 1980s, el acceso por caminos a lo largo del Río Naranjo, al oeste de Piedras, ya no es posible.

Está disponible una completa base topográfica a escala 1:50000 y una casi completa, relativamente sin nubes, serie de fotografías aéreas (escala nominal 1:60000) que cubren el complejo metamórfico El Oro. Éstas se indican en el mapa geológico acompañante y pueden ser compradas en el Instituto Geográfico Militar (IGM) en Quito. Imágenes satelitales SAR (Radar de Apertura Sintética) de la zona también están disponibles y pueden ser obtenidas del Centro de Levantamiento Integrado de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN), Quito. La base topográfica a escala 1:100000 usada en este estudio fue preparada por el Proyecto, pues mapas a esta escala aún no están disponibles en el Ecuador.

Debido a la cercanía de la frontera en disputa con el Perú, la mayor parte de la provincia de El Oro es militarmente sensible. La compra de mapas, etc., especialmente de aquellos de la parte occidental de la provincia, debe ser acompañada por una solicitud de permiso de la correspondiente autoridad en Quito. Inmediatamente al este de la frontera peruana en disputa, al sur de la vía Arenillas-Huaquillas y al oeste de la vía Arenillas-El Alamor (Puyango) (Figura 1), existe una zona de 'exclusión'. Debe obtenerse un permiso especial de las autoridades militares, tanto de Quito como de Machala, para entrar.

Agradecimientos

Este estudio, realizado entre junio 1990 y diciembre 1993, formó parte del Proyecto Cordillera Real (1986-1993), un Programa de Cooperación Técnica bilateral entre el Reino Unido y el Ecuador. Fue financiado por la ODA (Overseas Development Administration) del Ministerio Británico de Relaciones Exteriores y de la Mancomunidad de Naciones, y por la CODIGEM del Ministerio de Energía y Minas. Los autores desean agradecer la contribución de todo el personal de la CODIGEM, especialmente a Carlos Muirragui por su apoyo y aliento. Agradecimientos a Fabiola Alcocer, Ramiro Bermúdez, Víctor Acitimbay y a Manuel Célleri por su leal y firme apoyo durante todo el proyecto. El texto y el mapa se han beneficiado de las exhaustivas revisiones de Cedric Mortimer, Martin Litherland y Rob Evans.

J. Aspden también desea agradecer a todos los miembros de la Embajada Británica en Quito, por su ayuda y respaldo administrativo proporcionado durante la estadía de 7 años en Ecuador.

UNIDADES GEOLÓGICAS DEL COMPLEJO

ESTRUCTURA GENERAL

Los Andes del Norte del Ecuador y Colombia tienen un rumbo NNE-SSW y están separados de los Andes Centrales del Perú, con rumbo NW-SE, por la Deflexión de Huancabamba (Gansser, 1973). De acuerdo con Megard (1989) uno de los mayores rasgos de esta zona de transición, a la que él se refiere de manera conjunta como los Andes de Huancabamba, 'es la presencia de un probable microcontinente acrecionado … el terreno Amotape-Tahuín', el cual aflora en el noroeste de Perú y suroeste de Ecuador como el complejo metamórfico El Oro. Recientes trabajos realizados en estas áreas (Litherland et al., 1994; Aspden y Litherland, 1992; Jaillard et al., 1990), incluyendo a este Proyecto, han resultado en la re-interpretación de la Deflexión de Huancabamba y, como se muestra en el mapa acompañante, en una, ahora posible, definición más precisa de los principales elementos 'geo-tectónicos' de esta estructura.

En Ecuador, como en otras partes, el contacto entre el 'terreno Amotape-Tahuín' y la principal Cordillera está escondido por depósitos más jóvenes. Sin embargo, en el contexto de los Andes del Norte, claramente el complejo metamórfico El Oro es anómalo. Los rumbos estructurales son E-W, lo que contrasta notoriamente con el rumbo NNE-SSW de la Cordillera Real inmediatamente al este, además, éste abarca una variedad de rocas metamórficas de bajo a alto grado, de afinidad continental y oceánica. El complejo incluye lo que generalmente ha sido considerado como las rocas más antiguas en el Ecuador y, adicionalmente, contiene afloramientos de esquistos azules y eclogitas, litologías que son raras en los Andes del Norte y, actualmente, desconocidas en otras partes del Ecuador.

En el noroeste, el complejo está cubierto por grandes depósitos no-consolidados del Terciario Tardío a Cuaternario de la planicie costera, y a lo largo del valle Jubones su límite septentrional está definido por la falla Jubones con rumbo E-W. En el este y sur está intruido, y/o suprayacido por un complejo mayor volcánico-plutónico del Terciario y por sedimentos cretácicos de la cuenca Alamor.

Al norte y este del principal afloramiento, por ejemplo, en las áreas de Chaucha y Manú, se ha registrado inliers y/o bloques rodados de rocas metamórficas (Aspden y Litherland, 1992; Aspden et al., 1988; Feininger, 1987; INEMIN-Misión Belga, 1989; Kennerley et al., 1973). Los detalles de tales ocurrencias permanecen relativamente desconocidos, pero la información disponible sugiere que estas rocas son litológica y mineralógicamente comparables con aquellas encontradas en el complejo metamórfico El Oro.

El mapeo geológico de reconocimiento a escala 1:100000 de las provincias de El Oro y Loja fue inicialmente completado entre 1969 y 1981 como parte de un temprano Programa de Cooperación Técnica bilateral entre los gobiernos del Reino Unido e Irlanda del Norte (ODA) y Ecuador (Dirección General de Geología y Minas – DGGM; Ministerio de Energía y Minas). También durante este periodo, el Dr. Tomas Feininger junto con varios estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional de Quito (Almeida, 1977; Sevilla, 1976, Duque, 1975), realizaron el mapeo detallado de la parte occidental del complejo metamórfico El Oro que resultó en la publicación de un mapa geológico a escala 1:50000 (Feininger, 1978). Este trabajo es referido en el mapa geológico acompañante.

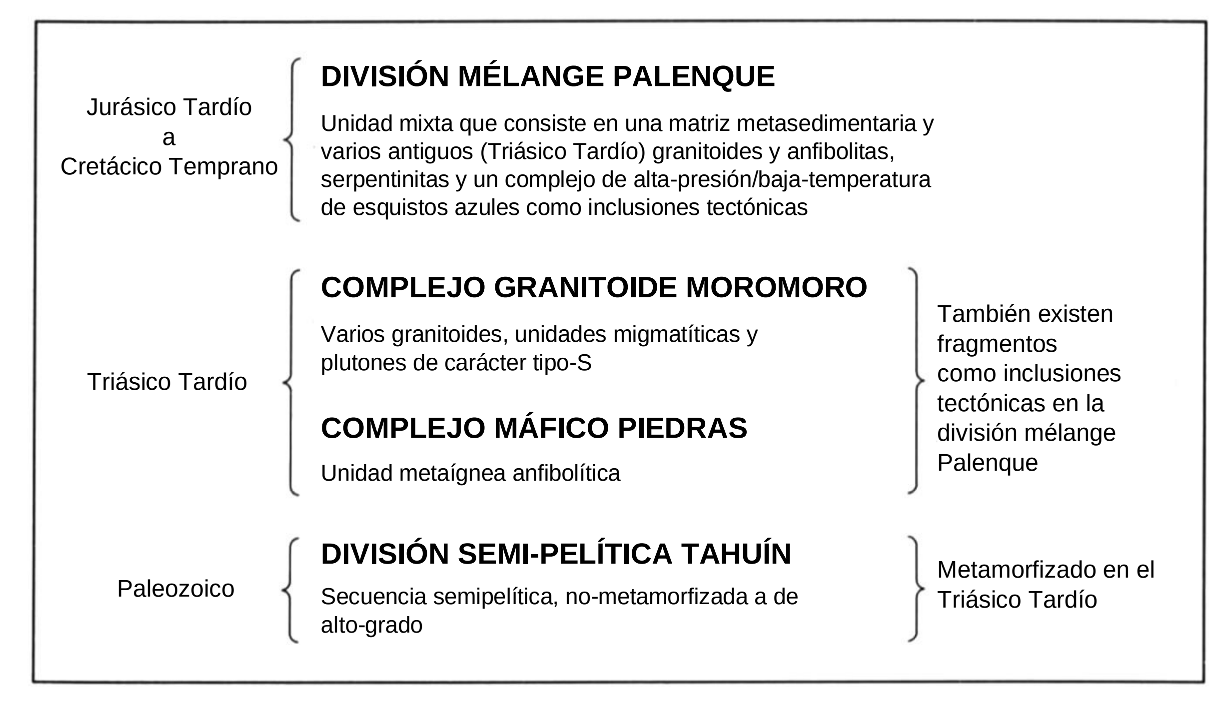


Figura 2. Resumen de la nomenclatura estratigráfica

Parte de la información de estos primeros estudios, especialmente aquella a lo largo de la zona de frontera con el Perú, ha sido usada para incrementar la obtenida durante la presente investigación. Igualmente, algunos de los contactos geológicos en la inmediata área de Cerro Pelado (Figura 1) son tomados del trabajo de la Plateau Mining Company. Sin embargo, se debe enfatizar que la interpretación de estos datos es sólo responsabilidad de los presentes autores.

Como resultado del trabajo previo, se ha establecido una pre-existente, en parte formal, nomenclatura estratigráfica para el complejo metamórfico El Oro, pero en el presente estudio se ha preferido un sistema informal, el cual se resume en la Figura 2. Por tanto, los términos división/complejo/unidad reemplazan a los de Grupo/Formación. En algunos casos, se ha probado la necesidad de redefinir y/o subdividir algunos de los grupos originales de rocas de anteriores autores, pero, en lo posible, los nombres de uso común se han mantenido. Estos cambios se detallan en la Figura 3.

Una nomenclatura estratigráfica formal en el sentido de, por ejemplo, el Código Estratigráfico Norteamericano (NACSN, 1983) y sus recomendaciones para la definición de unidades de rocas ígneas y sedimentarias, no se pudo aplicar debido a la escasez de datos de espesor de las unidades, a los difusos y tectonizados contactos, a los variables cambios metamórficos y a las formas irregulares.

La geología del complejo metamórfico El Oro es ilustrada en el mapa acompañante y, en el siguiente informe se describe en términos de dos 'sub-provincias' informales (Figura 4). La sub-provincia I, localizada al sur de la zona de falla con rumbo E-W Zanjón-Naranjo, contiene diversos elementos geológicos que pertenecen a la división semi-pelítica Tahuín, al complejo granitoide Moromoro y al complejo máfico Piedras. A pesar de su diversidad, la sub-provincia I es considerada como un bloque coherente en el cual se puede reconocer una historia geológica y estratigrafía consistentes.

Al norte de la zona de falla con rumbo E-W Zanjón-Naranjo la sub-provincia II abarca a la división mélange Palenque, un complejo estructural heterogéneo que contiene como inclusiones tectónicas a varios, kilométricos cuerpos-limitados por fallas. El límite septentrional de esta sub-provincia es la falla con rumbo E-W Jubones.

GEOLOGÍA DE LA SUB-PROVINCIA I

División semi-pelítica Tahuín

Toma el nombre de la Cordillera Tahuín, un nombre general aplicado a las altas elevaciones en la parte occidental de la provincia de El Oro, al sur de los valles de los Ríos Naranjo/Arenillas*. La división semi-pelítica Tahuín consiste en una secuencia semi-pelítica variablemente metamorfizada que muestra un rápido incremento en el grado metamórfico de sur a norte. Forma un cinturón de 10-20km de ancho, con rumbo E-W, el cual puede ser rastreado continuamente por casi 80km desde la frontera con Perú en el oeste, hacia el este en el área de El Cisne. Ha sido dividida en dos unidades informales – El Tigre en el sur y La Victoria en el norte.

*Unidad El Tigre (Las Lajas 609/9578) **

La unidad El Tigre consiste en una secuencia no-metamorfizada a débilmente-metamorfizada la cual abarca cuarcitas feldespáticas, wackes y arcosas ricas en cuarzo, de grano fino a medio, inmaduras, pobremente sorteadas, junto con intercalaciones de lutitas y limolitas. Con excepción de las secciones de ríos, la unidad El Tigre está, por lo común, profundamente meteorizada, pero, afloramientos razonablemente frescos y semi-continuos ocurren a lo largo de la vía Arenillas-Alamor, entre el pequeño asentamiento El Tigre (del cual la unidad toma el nombre) y el Río Puyango, también a lo largo de la vía Portovelo-Loja al sur de El Prado. En el sur, la unidad El Tigre es suprayacida en inconformidad por los sedimentos cretácicos de la cuenca Alamor (Baldock, 1982; Feininger, 1978). Este contacto está particularmente bien expuesto al norte del Río Puyango a lo largo de la vía Arenillas-Alamor (Lámina 1), pero más al este cerca de El Cisne ha sido afectado por una serie de fallas con rumbo NNE-SSW que pertenecen a la zona de falla Guayabal (Figura 4), relaciones precisas son difíciles de establecer. Al norte, la unidad el Tigre pasa a la unidad metamorfizada La Victoria, cuyos detalles se discuten a continuación.

Además de cuarzo y feldespato (el último usualmente alterado a sericita), estas rocas también contienen menores cantidades de biotita, moscovita y turmalina verde o café. Son comunes los clastos intraformacionales de lutita (su tamaño varía desde submilimétrico hasta varias decenas de centímetros), especialmente en las capas de arena más gruesa, algunas de las cuales probablemente son compuestas ya que alcanzan varios metros de espesor.

En la unidad El Tigre, en varias secciones de ríos se puede observar estructuras sedimentarias bien-preservadas. Por ejemplo, en la Quebrada Agua Negra al oeste de Marcabelí (**Marcabelí 617/9581**), donde la secuencia compuesta por wackes cuarzosos, masivos, toscamente graduados, volcados, algunos de los cuales tienen bases erosionales con marcas de corriente y calcos de flujo, pasa a limolitas de grano más fino con laminación cruzada y paralela. También están presentes estructuras en flama y horizontes 'olistostrómicos' con pliegues slump (Lámina 2). Estos elementos sugieren que la unidad El Tigre es esencialmente de origen turbidítico y la ausencia de materiales/detritos volcánicos indicaría la derivación de un margen 'pasivo' o una fuente cratónica.

* Donde sea apropiado, los nombres de ubicación/lugar/ríos utilizados en el texto y aquellos que dan el nombre a divisiones/unidades son indicados en la Figura 1. Las referencias de cuadrícula (UTM) corresponden a cartas topográficas 1:50000 las cuales son indicadas en el mapa acompañante.

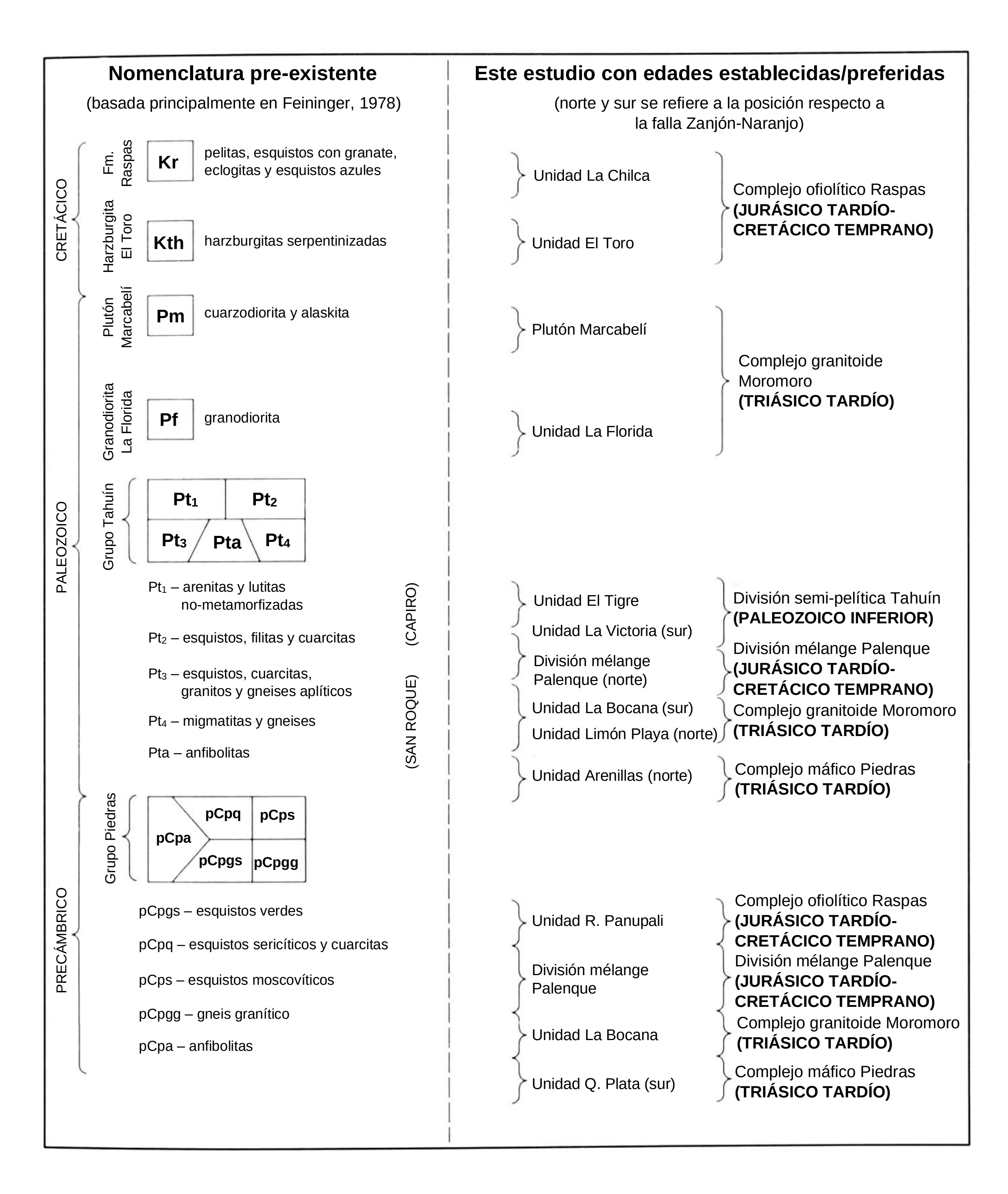


Figura 3. Comparación de la nomenclatura estratigráfica pre-existente y la usada en el presente estudio.

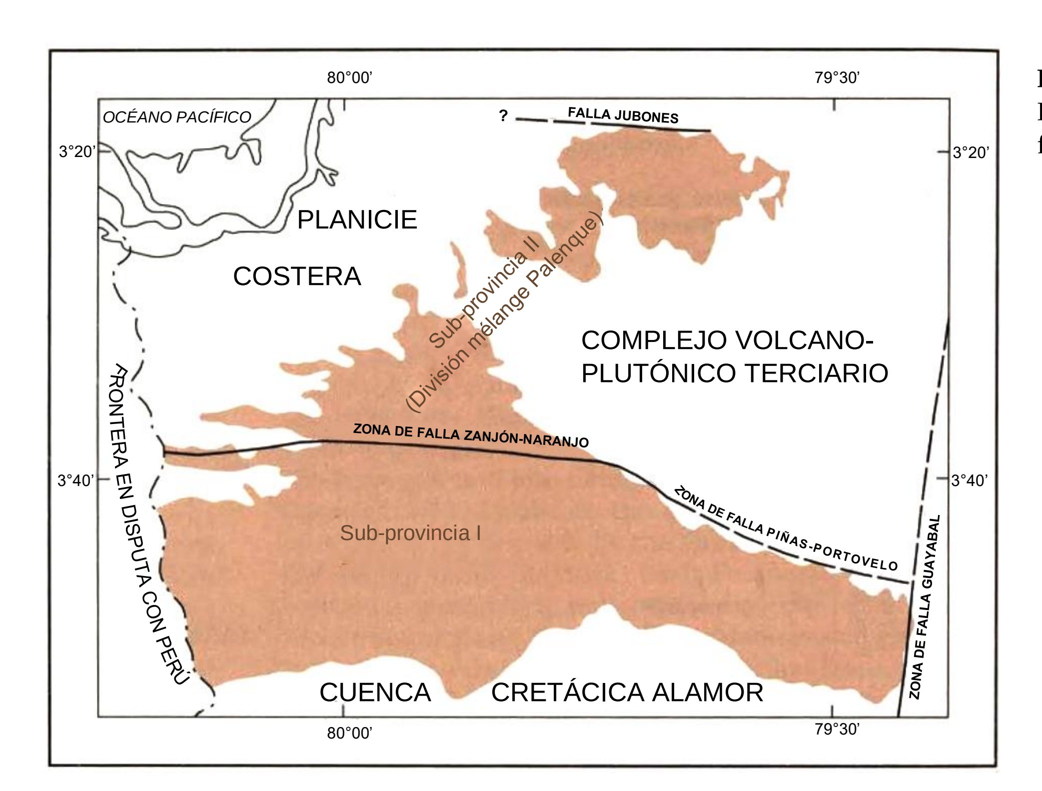


Figura 4. Estructura fisiográfica



Lámina 1. Discordancia angular entre la secuencia de la cuenca cretácica Alamor y la unidad El Tigre, división Tahuín. Nuevo camino Arenillas-Alamor, ca. 1km al noreste del puente sobre el Río Puyango.



Lámina 2. Pliegues slump en la unidad turbidítica El Tigre, división Tahuín, Quebrada Agua Negra ca.1km al sur de San José.

Unidad La Victoria (Las Lajas 604/9582)

La unidad La Victoria es una secuencia semi-pelítica variablemente metamorfizada, la cual se interpreta que representa al equivalente septentrional de la unidad El Tigre. La vía principal Arenillas-Alamor, inmediatamente al este de La Victoria, proporciona una sección a través de la unidad La Victoria, pero los afloramientos son de variable calidad y a menudo meteorizados. Existen afloramientos frescos entre Las Lajas y La Victoria, y al sur de La Victoria en la Quebrada Lajas. Más al este, excelentes secciones parciales están expuestas en la Quebrada Primavera, río-abajo desde La Primavera, y también entre El Ingenio y Marcabelí, en la Quebrada Marcabelí. En el Río Moromoro, río-arriba desde la unión de la Quebrada El Oso, la unidad está expuesta casi continuamente, pero el acceso es difícil y se requiere acampar.

El contacto entre las unidades La Victoria y El Tigre es complejo y, en parte, gradacional. Sin embargo, está generalmente marcado por el ingreso de un clivaje regionalmente desarrollado y/o la presencia de biotita metamórfica (ver también Feininger, 1978). El contacto coincide con una importante zona 'tectónica' con rumbo aproximado E-W, la cual, en el occidente, está ubicada a casi 5km al SSW de La Victoria, en y alrededor del pueblo de Chiriboga. Esta zona pasa hacia el este, inmediatamente al norte de Marcabelí y al sur de Capiro, y emerge cerca de la unión de los Ríos Pindo y Amarillo. Más al este, está obscurecida por el plutón El Prado y, en el área de El Cisne por la zona de falla Guayabal.

En el sur, son comunes las filitas y pizarras con biotita, la estratificación aún es visible y, en lámina delgada en algunas de las rocas de bajo-grado, aún se puede observar texturas clásticas originales dentro de horizontes más masivos e impuros de cuarcita. Composicionalmente, estas rocas parecen ser idénticas a aquellas de la unidad El Tigre. Más al norte las filitas normalmente contienen pequeños porfiroblastos de sericita después de (?) cordierita y/o andalucita. Incrementando el grado metamórfico, las filitas son reemplazadas por esquistos pelíticos típicamente compuestos por biotita ± moscovita, albita y cuarzo con porfiroblastos de cordierita y/o andalucita. Por lo común también se desarrolla fibrolita y/o sillimanita (± andalucita, ± granate), especialmente en el norte hacia el contacto con el complejo granitoide Moromoro.

Estos cambios mineralógicos, en particular la presencia de asociaciones de gruesa sillimanita + cuarzo + plagioclasa + moscovita ± biotita ± andalucita ± cordierita ± granate, también corresponden a la presencia de litologías gnéisicas/migmatíticas en la unidad La Victoria (Lámina 3). Muchos de estos gneises se encuentran en el complejo granitoide Moromoro o ubicados a lo largo de su zona de contacto meridional con la unidad La Victoria, a veces contienen irregulares leucosomas cuarzofeldespáticos.

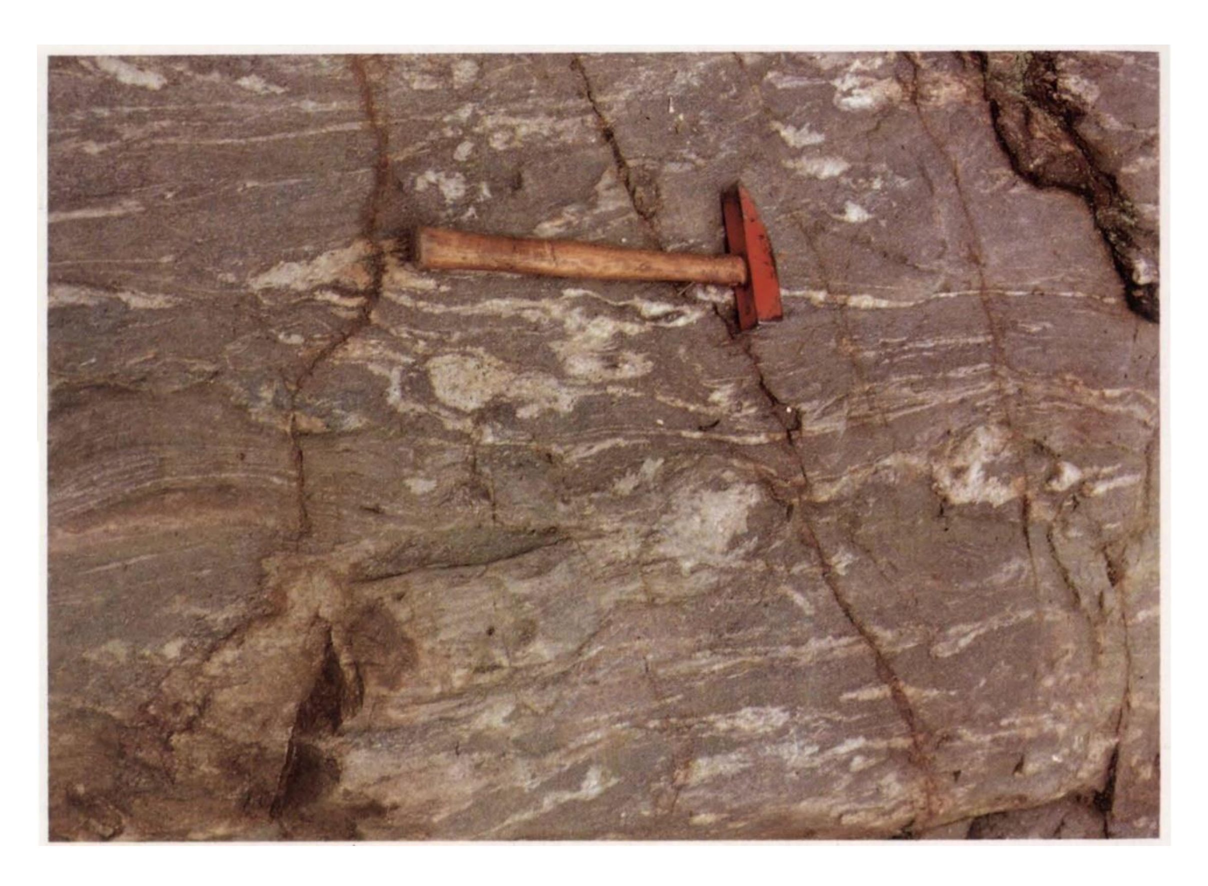


Lámina 3. Paragneis migmatítico, unidad La Victoria, división Tahuín, cerca del contacto con el complejo Moromoro, ca.1km al oeste de San Isidro.

Edad deposicional de la división Tahuín

La edad deposicional de la división Tahuín no está bien definida, pero es considerada como paleozoica, con mayor probabilidad pre-carbonífera. Aproximadamente 40 muestras de la unidad El Tigre fueron examinadas durante este estudio, pero ninguna de éstas contenía restos orgánicos datables (Owens, 1992). Sin embargo, acritarcos y esporas recuperados de una muestra recolectada al sur de La Libertad, fueron asignados por Zamora y Pothe de Baldis (1988) al pre-Devónico, posiblemente al post-Ordovícico. Una muestra de 'pizarra negra' recolectada debajo de la Formación cretácica Cazaderos (Baldock, 1982), en el valle del Río Cazaderos, al suroeste del principal afloramiento de Tahuín en el extremo oeste de la provincia de Loja, entregó 'un posible ejemplo de *Emphanisporites* y algunos tipos simples de esporas no identificadas, fuertemente carbonizadas, las cuales son laevigata o tienen pocos ornamentos de conos, espinas y báculos. Aunque no se pudo identificar taxonomía alguna, este es el tipo de ensamble que se podría encontrar en el Devónico Temprano o Medio' (J. E. Whittaker, Museo Británico, Londres, comunicación personal). Mientras la relación entre esta muestra y la división Tahuín permanece incierta, la presencia de un clivaje y su posición estructural debajo de la Formación cretácica Cazaderos, sugiere una correlación con la división Tahuín.

En el norte de Perú en el Cerro Amotape, aproximadamente 140km al suroeste, a lo largo del rumbo de la división Tahuín, una secuencia similar formada por filitas y cuarcitas de bajo-grado contiene una dispersa fauna de braquiópodos devónicos (Martínez, 1970). Mourier (1988) ha revisado la evidencia paleontológica disponible de esta área y señala que, mientras la edad devónica es incierta, el descubrimiento de fósiles traza (*Cruziana* sp. y *Lophoctenium*) podría indicar una edad paleozoica inferior.

La edad metamórfica de la división Tahuín, considerada como triásica tardía, se discute abajo.

Complejo granitoide Moromoro (Zaruma 639/9573)

El complejo granitoide Moromoro toma el nombre del pueblo Moromoro y está formado por las unidades La Bocana y La Florida, y los plutones Marcabelí y El Prado.

Unidad La Bocana (Marcabelí 622/9592)

Toma el nombre del pequeño pueblo de La Bocana y forma la mayor parte del complejo granitoide Moromoro. Es una unidad mixta que incluye a diferentes tipos de rocas, pero consiste principalmente en granodioritas variablemente foliadas, de grano fino a medio, con biotita, ± moscovita, ± granate, ± turmalina, con menores cantidades de migmatitas y paragneises de alto-grado. Está bien expuesta en varios ríos con dirección N-S, pero las Quebradas Piedras/Primavera, cerca del pueblo La Bocana, son las más accesibles.



Lámina 4. Granitoide texturalmente heterogéneo, unidad La Bocana, complejo Moromoro, Quebrada Palo de Oro. Nótese la presencia de xenolitos metasedimentarios, xenocristales de cuarzo blanco y zonas irregulares de difusa foliación/schlieren.



Lámina 5. Granitoide foliado texturalmente heterogéneo, unidad La Bocana, complejo Moromoro, Quebrada Primavera. Los comunes xenolitos metasedimentarios están estirados y aplanados paralelamente a la foliación; áreas irregulares color-pálido consisten principalmente en cuarzo xenocrístico.



Lámina 6. Gneis granito migmatítico, unidad La Bocana del complejo Moromoro, área La Florida.



Lámina 7. Gneis granito migmatítico, unidad La Bocana del complejo Moromoro, área La Florida.

En el este, cerca de El Cisne, la unidad La Bocana es truncada por la zona de falla Guayabal, y en el norte, es suprayacida e intruida por un complejo volcano-plutónico terciario a lo largo de la zona de falla Piñas-Portovelo. Donde se observa, (**La Avanzada 6207/95967; 6266/95961**) el contacto septentrional con el complejo máfico Piedras es tectónico. Sin embargo, la presencia de xenolitos de anfibolita en la unidad La Bocana (**Zaruma 6506/95838; 6477/95895**), y la ocurrencia de cuerpos graníticos (**Arenillas 5908/95965; La Avanzada 6265/95965**) en el complejo máfico Piedras, sugieren la posibilidad de que originalmente este contacto fue intrusivo.

El principal contacto meridional de la unidad La Bocana con la unidad metasedimentaria La Victoria es, en parte, gradacional, pero a escala regional corresponde a una complicada zona de cizallamiento dextral sin-tardía-magmática (ver a continuación), la cual, especialmente en el este, ha resultado en el interdigitamiento tectónico de las litologías. Donde fue posible, las grandes áreas de metasedimentos fueron asignadas a la unidad La Victoria, mientras que, como se muestra en el mapa, algunos paragneises (muchos de los cuales son de alto-grado y muestran varios niveles de migmatización) han sido incluidos en la unidad La Bocana.

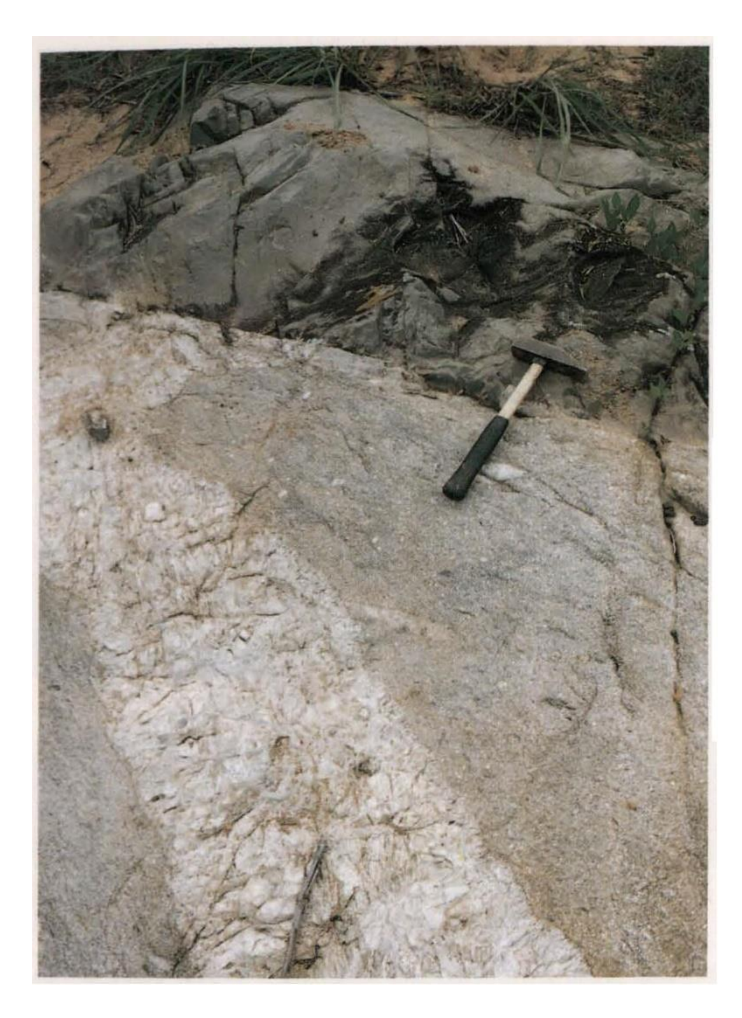


Lámina 8. Pegmatita granítica no-foliada, de etapa-tardía cortando el granito foliado, unidad La Bocana, complejo Moromoro, Quebrada Primavera. Nótese la presencia del joven (Terciario?) dique en la parte superior de la fotografía.

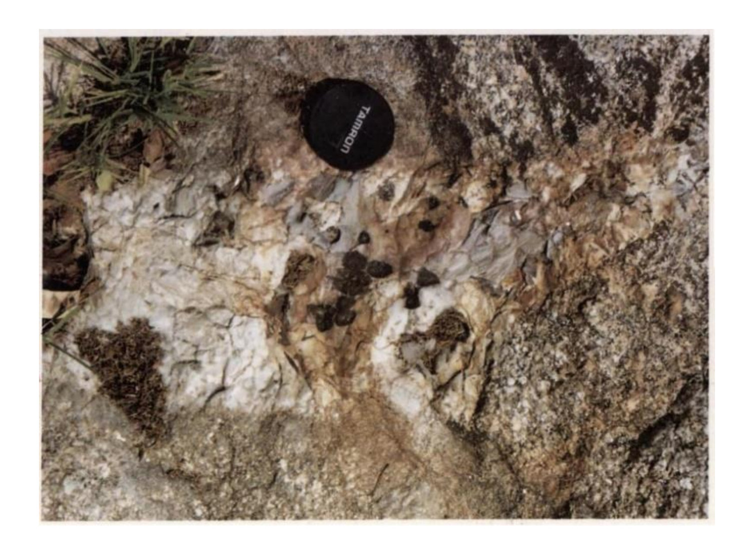


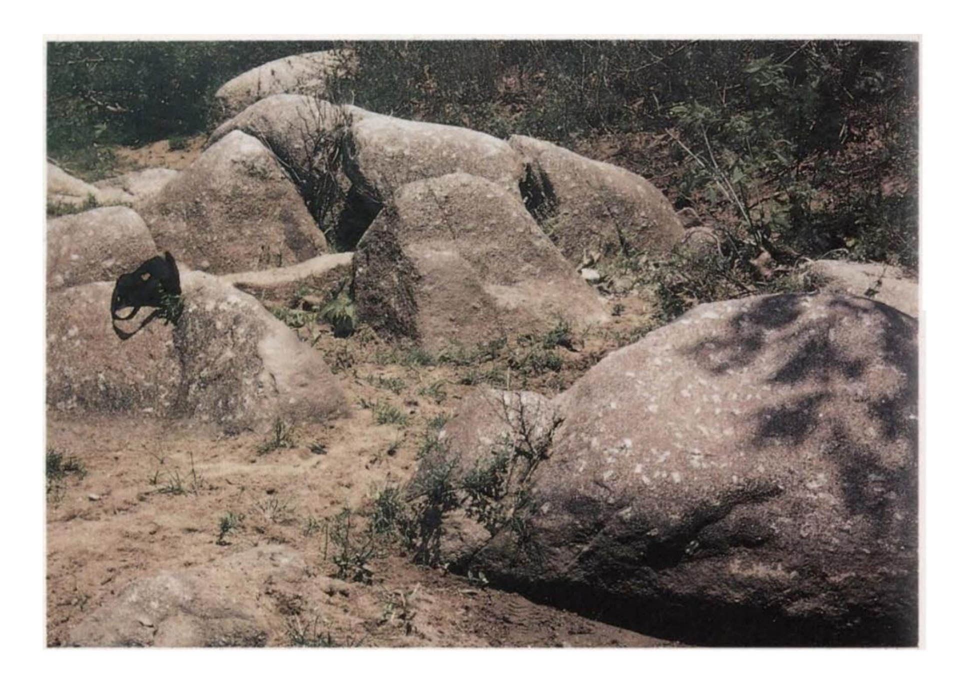
Lámina 9. Apófisis pegmatítica irregular, compuesta por feldespato, cuarzo, biotita, moscovita y turmalina, unidad La Bocana, complejo Moromoro, Quebrada Primavera.

Más al sur, y contenidos en la unidad La Victoria, existen algunos cuerpos lentoides, por lo general fuertemente foliados, compuestos principalmente por granodiorita con biotita, ± moscovita, ± granate. Estos cuerpos tienen contactos fallados y a menudo fábricas bien desarrolladas de milonita S-C (Berthe et al., 1979). Se considera que estos plutones, junto con numerosos diques tardíos pegmatíticos (por lo general turmaliníferos), que intruyen a la unidad La Victoria, pertenecen a la unidad La Bocana. En el extremo oeste, un pequeño cuerpo de granodiorita biotítica-moscovítica limitado por fallas (ca. <500m de ancho), que ocurre dentro de la unidad Quebrada Plata (ver a continuación) al sur de Chacras, ha sido asignado a la unidad La Bocana.

Texturalmente, las granodioritas La Bocana son en general muy heterogéneas debido a la presencia de numerosos, predominantemente sedimentarios, xenolitos que incluyen cuarcitas, esquistos pelíticos, paragneises y migmatitas (Láminas 4 y 5-7). Son comunes los clastos/schlieren de biotita y los clastos con formas irregulares de cuarzo blanco de veta, de hasta varios centímetros de longitud. Las relaciones de contacto entre los diferentes xenolitos y la granodiorita hospedante varían desde marcadas y bien-definidas hasta difusas y fantasmales. En afloramiento, áreas de foliación irregular, y la presencia de schlieren de biotita, a veces pueden ser directamente atribuidas a la asimilación y/o fractura de material xenolítico. Los ensamblajes minerales en los xenolitos 'restíticos' metasedimentarios son variables, pero incluyen gruesa sillimanita + moscovita + biotita ± andalucita ± cordierita ± porfiroblastos de moscovita (?retrógrados después de sillimanita) ± granate, ± feldespato-K. En algunas áreas, por ejemplo, al norte de La Bocana cerca de Santa Teresita, y al oeste hacia la Quebrada Tahuín Grande, están presentes ensamblajes de sillimanita + feldespato-K + moscovita. También en esta área, y al sur de Portovelo en el este, son comunes las granodioritas con biotita, granate, ± moscovita. En lámina delgada, algunas de estas granodioritas (e.g. al suroeste de El Blanco, **Marcabelí 611/9594**) contienen cristales aciculares, euhedrales, frescos de gruesa sillimanita; no se ha establecido si este mineral es de origen magmático o xenocrístico. En la unidad La Bocana son comunes las apófisis irregulares de pegmatitas con cuarzo, + feldespato, + turmalina, ± biotita, ± moscovita, y los diques tardíos, no-deformados, transversales, con materiales similares (Láminas 8 y 9). En el extremo oeste, a lo largo de la frontera con Perú, Feininger (1978) registró la presencia de un plutón de granodiorita turmalinífera (**Las Lajas 591/9581**).

Río-abajo de La Florida y La Primavera, en las Quebradas El Guineo y Primavera, varios diques no-deformados, de composición intermedia, cortan la unidad La Bocana. Se cree que estas intrusiones están relacionadas con un evento más joven (Terciario) (Lámina 8).

Lámina 10. Granito biotítico con megacristales feldespato alcalino, unidad La Florida, complejo Moromoro, inmediatamente al sur de La Florida.



Unidad La Florida (Las Lajas 598/9585)

La unidad La Florida toma el nombre del pequeño asentamiento de La Florida situado cerca de la frontera en disputa con Perú y de acuerdo con Feininger (1978), tres plutones de esta unidad han sido mapeados en la parte occidental del complejo granitoide Moromoro.

La unidad La Florida consiste generalmente en un(a) granito/granodiorita generalmente no foliado(a), de grano medio a grueso, con biotita, ± granate y megacristales de feldespato alcalino (Láminas 10 y 11). Los megacristales de feldespato alcalino color crema pálido varían su tamaño y proporción; son de hasta 8cm de longitud y, en muestra de mano, frecuentemente exhiben maclas Carlsbad. En marcado contraste con la unidad La Bocana, la unidad La Florida es texturalmente homogénea y tiene buenas texturas ígneas primarias. Por lo general contiene xenolitos metasedimentarios, estos incluyen cuarcitas paragneises y migmatitas (Láminas 12 y 13). En la mayoría de casos, los contactos de estos xenolitos con la granodiorita hospedante son marcados, pero algunos están bordeados por zonas irregulares, marginales de turmalina pegmatítica, + cuarzo, ± biotita, ± moscovita. También están presentes diques tardíos de aplitas leucocráticas de dos micas.

Parches irregulares de granodioritas tipo-La Florida, con contactos difusos/gradacionales ocurren en la unidad La Bocana, sugiriendo para estos granitoides una edad similar y origen relacionado.

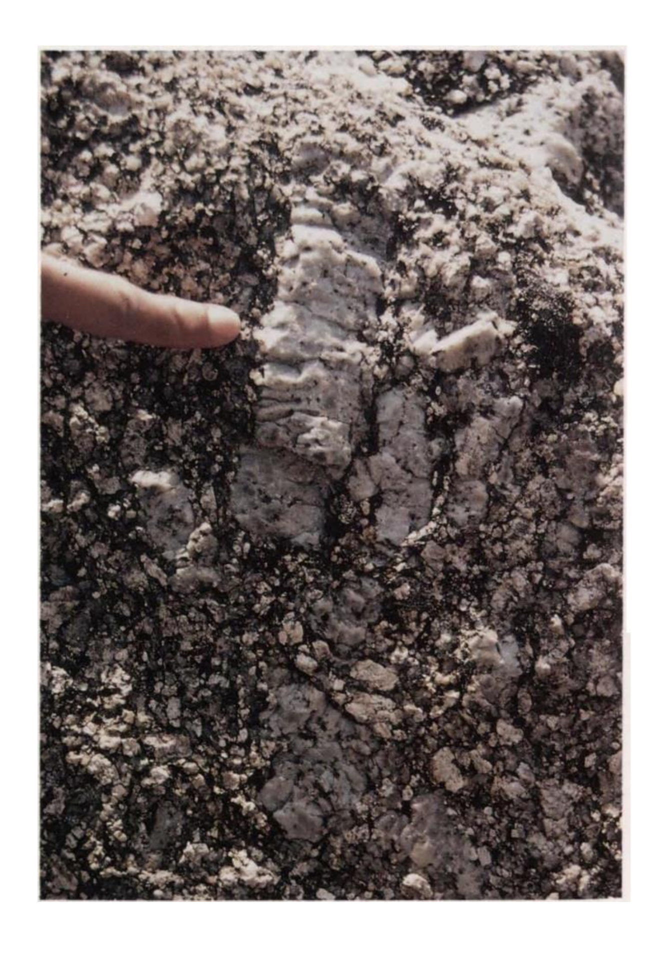


Lámina 11. Granito biotítico con megacristales feldespato alcalino, unidad La Florida, complejo Moromoro, inmediatamente al sur de La Florida



Lámina 12. Xenolito de un granito gneis migmatítico en la unidad La Florida, complejo Moromoro, Quebrada Palmales.



Lámina 13. Xenolitos metasedimentarios con márgenes de enfriamiento, unidad La Florida, complejo Moromoro, ca. 2km al sur de La Florida.

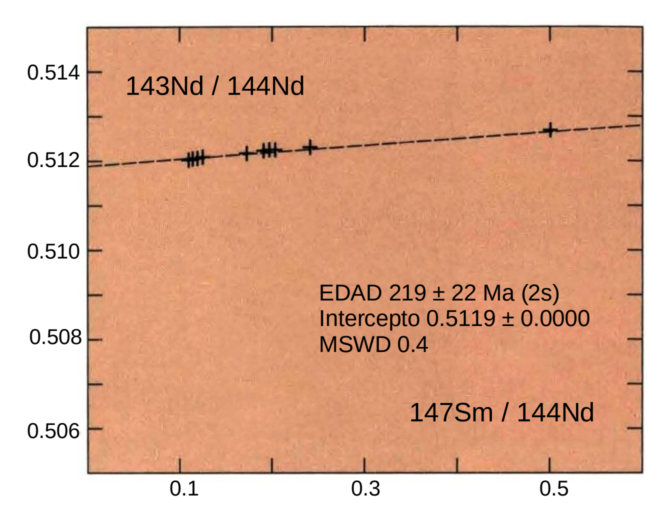


Figura 5. Isócrona Sm/Nd de un paragneis granatífero, unidad La Bocana, complejo Moromoro, Río Piedras

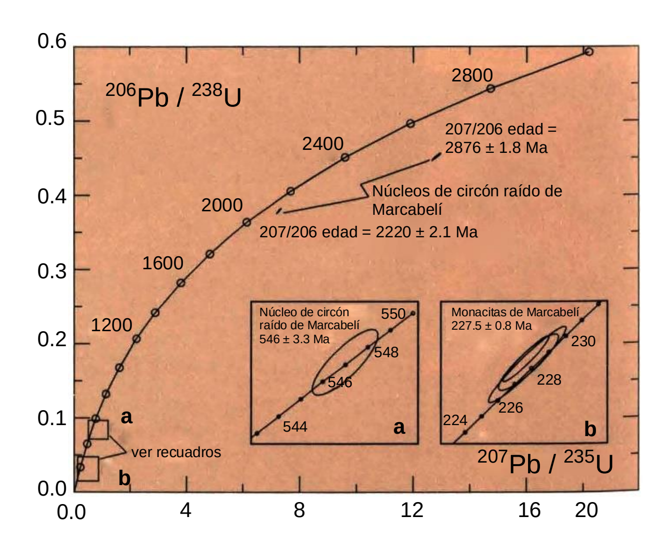


Figura 6. Diagrama concordia U/Pb para el plutón Marcabelí; la edad de cristalización de 227.5 ± 0.8 Ma está dada por los análisis de monacita, los núcleos de circón fuertemente raídos indicarían herencia de xenocristales del Arcaico y Proterozoico.

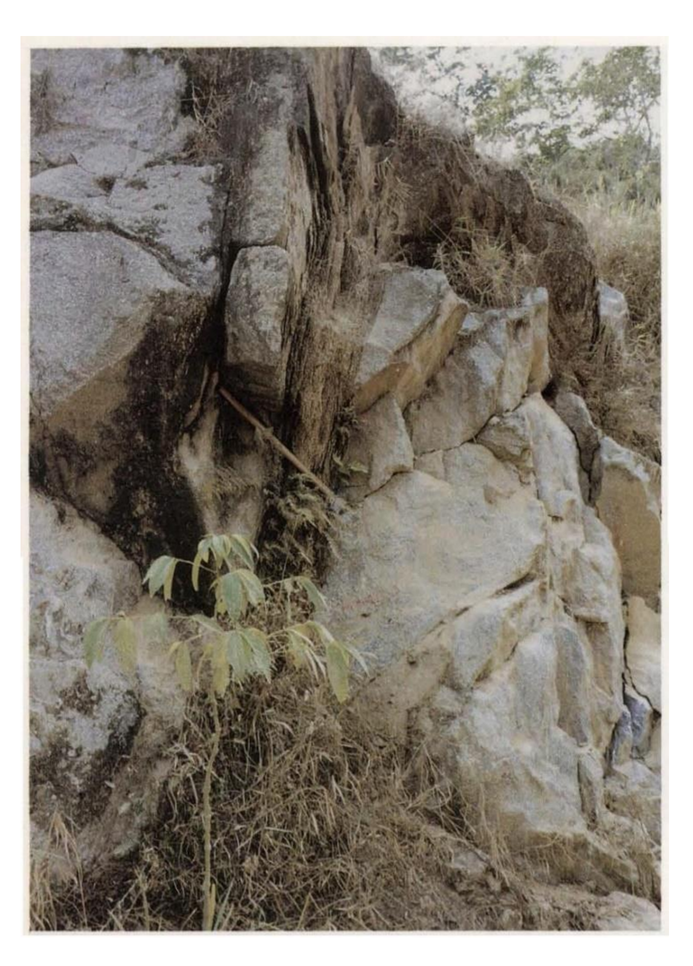


Lámina 14. Empinada zona de cizalla dúctil con rumbo E-W en el plutón Marcabelí, ca.1km al oeste de San Roquito.

Plutones Marcabelí y El Prado (Marcabelí 621/9582; Zaruma 658/9577)

Los plutones Marcabelí y El Prado están localizados dentro de la división Tahuín y atraviesan el contacto entre las unidades La Victoria y El Tigre. No están disponibles dataciones para el plutón El Prado, pero su rumbo general E-W y la ocurrencia de granitoides textural y composicionalmente similares a aquellos observados en el plutón Marcabelí, sugieren que estos dos cuerpos tienen edad similar.

Aunque en algunos lugares ambos plutones están cortados por discretas zonas de cizalla generalmente con rumbo E-W (Lámina 14), son en esencia no-deformados, especialmente en el sur donde intruyen y contacto-metamorfizan a la unidad El Tigre. Localmente, la andalucita está ampliamente desarrollada (Río Balsas, **Marcabelí 6256/95805**). Los contactos septentrionales de los plutones han sido afectados por cizallamiento y sus límites precisos y relaciones con las granodioritas de La unidad La Bocada requieren clarificación.

Los plutones Marcabelí y El Prado a menudo están profundamente meteorizados, pero consisten principalmente en granodioritas de grano medio con biotita, ± moscovita. Ambos plutones son compuestos y contienen una variedad de fases plutónicas, cuya(s) naturaleza e interrelaciones permanecen inciertas. En el oeste, expuesto a lo largo del banco sur del Río Puyango (**Marcabelí 617/9576**), el plutón Marcabelí incluye una facies leucocrática, de dos micas, con topacio. En otras áreas (al oeste de Marcabelí en el Río Marcabelí, **Marcabelí 6194/95811**) están expuestas granodioritas hornbléndicas-biotíticas, de grano medio, que contienen xenolitos con hornblenda. Similares xenolitos ricos en hornblenda también ocurren en la Quebrada Milagro (**Marcabelí 6286/95852**), mientras que más al este, expuestas en una cantera cerca de Balsas (**Marcabelí 630/9583**) están presentes granodioritas débilmente foliadas, con biotita, moscovita. Similares variaciones mineralógicas/texturales pueden ser observadas en el plutón El Prado, el cual en lugares (Quebrada Usulaca, **Zaruma 651/9583**), también tiene topacio y material xenolítico de origen ígneo. Cerca del pueblo El Prado y más al oeste en la Quebrada Chaupi (**Zaruma 661/9578**) están presentes granodioritas más máficas, con hornblenda.

Tabla 2. Determinaciones K-Ar del complejo granitoide Moromoro

Tipo de roca	Área muestreada (carta topográfica y cuadrícula de ref.)	Mineral	K %	Atom 40 %	Rad ^{40}AR (nl/g)	Edad (Ma)
UNIDAD LA BOCANA						
Gneis con granate, biotita	Q. Lobos, cerca de El Carmen (La Avanzada 6194/95950)	Biotita	8.51	-	-	210 ± 8*
Ortogneis magmático con biotita	Q. Piedras, área de Sta. Teresita (La Avanzada 6212/95956)	Biotita	6.26	28.24	54.375	211 ± 6
		Moscovita	7.04	11.08	61.822	213 ± 6
		Moscovita	5.68	14.82	48.492	207 ± 6
Granodiorita con moscovita, biotita	Q. El Negro SSW de La Bocana (Marcabelí 6218/95912)	Biotita	7.47	8.67	66.548	216 ± 6
		Moscovita	8.45	32.94	76.941	220 ± 6
Pegmatita granítica tardía con moscovita, turmalina	R. Piedras, La Bocana (La Avanzada 6219/95927)	Moscovita	8.51	15.30	65.994	189 ± 5
PLUTÓN MARCABELÍ						
Granodiorita con biotita	R. Puyango en la desembocadura de la Q. Marcabelí (Marcabelí 6173/95771)	Biotita	7.78	-	-	214 ± 6*
Granodiorita con moscovita, biotita	Cantera Balsas (Marcabelí 6308/95837)	Biotita	7.50	72.05	61.798	201 ± 12
		Moscovita	8.41	9.72	74.353	214 ± 6
Granodiorita con moscovita, biotita	Camino al R. Puyango SW de Marcabelí (Marcabelí 6188/95775)	Biotita	7.65	7.06	70.042	221 ± 6
		Moscovita	7.00	74.92	55.487	193 ± 13

Datos de Aspden et al., 1992 y, *Feininger y Silberman, 1982

En ambos plutones, Marcabelí y El Prado, están presentes intrusiones menores y diques básicos no-deformados. En algunas áreas, estas rocas están notablemente frescas (e.g. los bloques de material 'basáltico' vistos en el pueblo de El Prado) y, debido a que el principal plutón El Prado normalmente está fuertemente meteorizado, tales intrusivos probablemente son más jóvenes y no-relacionados con el complejo granitoide Moromoro.

Edad de la unidad La Bocana y el plutón Marcabelí

Las edades K-Ar de biotita y moscovita disponibles de la unidad La Bocana y el plutón Marcabelí son enlistadas en la Tabla 2. Con la excepción de una edad algo joven de 189 ± 5 Ma (obtenida de un bloque rodado de pegmatita granítica tardía con moscovita, turmalina), las edades de La Bocana varían entre 207 ± 6 y 220 ± 6 Ma (media 213 ± 6 Ma). De paragneises con granate en la unidad La Bocana, recolectados del Río Piedras cerca de Santa Teresita, se obtuvo una isócrona Sm/Nd de roca total/granate de edad 219 ± 22 Ma (MSWD 0.4) (Aspden et al., 1992 y Figura 5). Los datos K-Ar del plutón Marcabelí varían entre 193 ± 13 y 221 ± 6 Ma (media 209 ± 9 Ma).

Recientemente, una edad U/Pb (monacita) ha confirmado una, ligeramente más antigua, edad del Triásico Tardío de 227.5 ± 0.8 Ma del plutón Marcabelí. Circones heredados con edades entre 0.546 y 2.876 billones ($\times10^9$) de años indican la presencia de material cortical retrabajado (Noble et al., 1994) (Figura 6).

Complejo máfico Piedras (La Avanzada 620/9598)

El complejo máfico Piedras toma el nombre del área que rodea al pequeño asentamiento de Piedras. En la sub-provincia I, las rocas que pertenecen a este complejo intrusivo han sido asignadas a la unidad Quebrada Plata.

Unidad Quebrada Plata (La Avanzada 634/9596)

Litológicamente la unidad Quebrada Plata abarca metagabros (ahora principalmente anfibolitas) saussuritizados, generalmente máficos, de grano fino a grueso, masivos a gnéisicos, con textura variable, compuestos por hornblenda verde-pálida y/o actinolita, plagioclasa (oligoclasa-andesina), epidota y menores cantidades de cuarzo, opacos, ± esfena, ± rutilo, ± clinozoisita. En el Este, a lo largo de la zona de falla Zanjón-Naranjo, la unidad incluye algunos esquistos-verdes y, en el sur, a lo largo del contacto con la unidad La Bocana, son comunes las anfibolitas pegmatíticas.

El área alrededor de las partes bajas de la Quebrada Plata proporciona secciones de carretera y de río a través de esta unidad. Excelentes afloramientos están presentes en la Quebrada Piedras, al norte de Santa Teresita y en el Río Zaracay (**La Avanzada,** al norte de **6266/95961**). En el caso de la Quebrada Piedras, los afloramientos se inundan progresivamente por el levantamiento de las aguas del reservorio Tahuín.

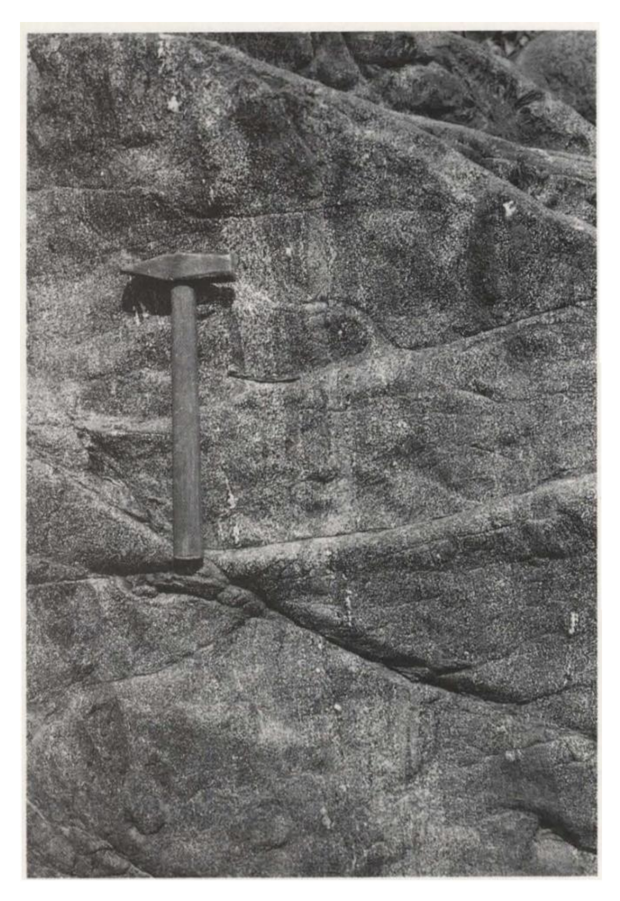


Lámina 15. Bandeamiento ígneo relicto, unidad Quebrada Plata, complejo Piedras, Río Piedras.

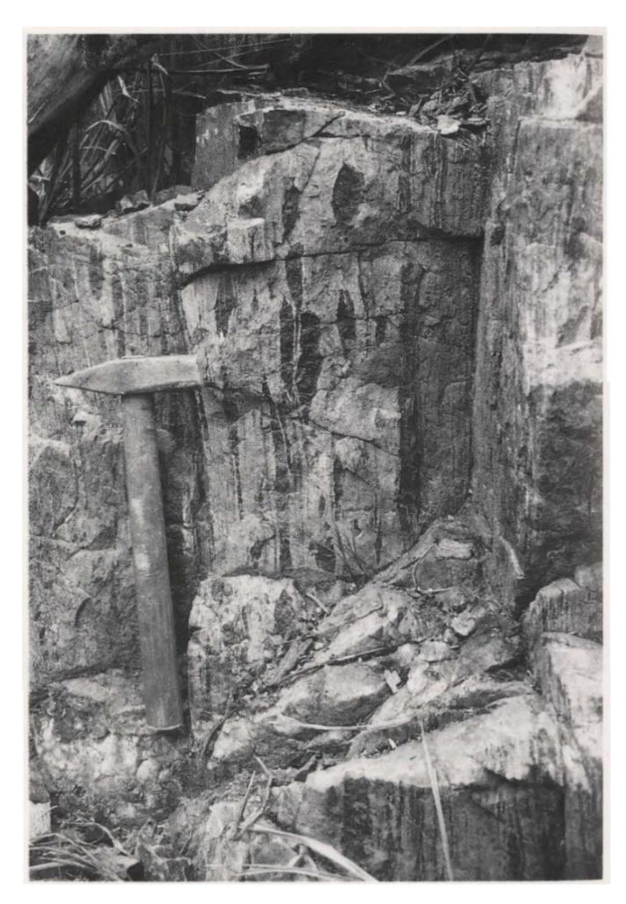


Lámina 16. Bandeamiento vertical con enclaves máficos concordantes, unidad Quebrada Plata, complejo Piedras, Río Piedras.

La unidad Quebrada Plata tiene rumbo E-W y forma un estrecho cinturón, por lo general menor que 3km de ancho, regionalmente persistente, el cual puede ser rastreado casi continuamente por casi 60km desde la frontera con Perú en el oeste, hasta Portovelo en el este. Donde se observa, el contacto meridional con el complejo granitoide Moromoro es tectónico, y el contacto septentrional coincide con la zona de falla Zanjón-Naranjo.

En el Río Piedras (**La Avanzada 620/9597**) se puede observar enclaves máficos ricos en hornblenda y bandeamiento ígneo relicto (Láminas 15 y 16). En este mismo río, y también en el Río Zaracay (**La Avanzada 625/9597**), aproximándose a la zona de falla Zanjón-Naranjo desde el sur, las litologías generalmente masivas, pero débilmente foliadas (las cuales son típicas de la unidad), se tornan progresivamente miloníticas. Las rocas desarrollan una notable, generalmente casi vertical lineación mineral, debido al crecimiento de actinolita acicular, ahora mayormente epidotizada. El producto final de este proceso es una distintiva tectonita, finamente bandeada, color negro a verde oscuro, en la que se desarrollaron sets conjugados de kink bands (plegamiento-Z) tardío-contemporáneos y generalmente dúctiles (Lámina 17). En otras partes a lo largo de la falla Zanjón-Naranjo (**La Avanzada 6266/95967; 6350/95965**) estas tectonitas se encuentran con, o reemplazadas por, esquistos verdes más masivos (?anfibolitas retrógradas) compuestos por actinolita, epidota, cuarzo, albita, esfena, ± rutilo. En muestra de mano, a menudo estas rocas se parecen a serpentinitas, debido al desarrollo de minerales de serpentina en las superficies de juntas/fracturas.

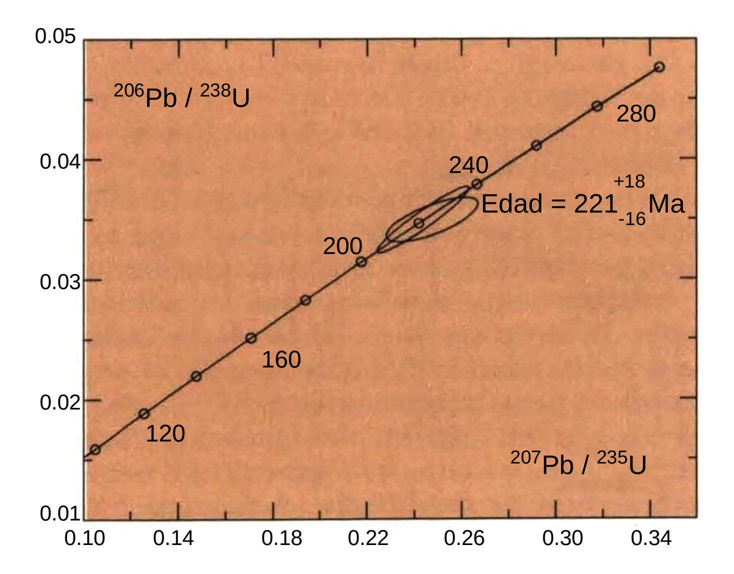


Figura 7. Diagrama concordia U/Pb de circón para la unidad Quebrada Plata, complejo Piedras, Río Piedras. Los dos análisis concordia son de circones magmáticos fuertemente raídos que entregan una edad de cristalización de 221 $^{+18}_{-16}$ Ma.

De acuerdo con Feininger (1978), la unidad Quebrada Plata (parte de su Grupo Piedras, ver Figura 3) fue originalmente metamorfizada a la facies de anfibolita y ha sido subsecuentemente afectada por al menos un evento retrógrado. Las observaciones de arriba sugieren que este evento probablemente estuvo relacionado con movimiento(s) a lo largo de la zona de falla Zanjón-Naranjo.

En el extremo oeste, a lo largo de la frontera con Perú (**Arenillas 590/9596**), dentro de la unidad Quebrada Plata afloran dos estrechos (<500m) lentes, limitados por fallas, de granodiorita biotítica-moscovítica y serpentinita. La granodiorita ha sido asignada a la unidad La Bocana del complejo granitoide Moromoro. La serpentinita es de edad y origen incierto, pero es tentativamente correlacionada con lentes similares de serpentinita (innominada) los cuales se encuentran más al norte en la división mélange Palenque. Otros lentes de serpentinita también fueron mapeados por Feininger (1978) al oeste del pueblo Piedras, cerca de El Porvenir (**La Avanzada 611/9597**), en el área que ahora está parcialmente cubierta por el reservorio Tahuín.

Edad de la unidad Quebrada Plata

Usando el método K-Ar se han realizado varios intentos para datar la unidad Quebrada Plata (Tabla 3). Anteriormente, con base en una edad de anfibol determinada en 743 ± 13 Ma obtenida de una muestra del área de Portovelo, estas rocas eran ampliamente citadas como precámbricas (Kennerley, 1980; y Tabla 3). Durante el presente estudio, el remuestreo de esta unidad en la misma área ha entregado edades de 647 ± 37 Ma y 224 ± 3 Ma para separados de anfíbol. Estas diferencias generan dudas acerca de la validez de la edad precámbrica (Aspden et al., 1992).

Estudios U/Pb de circón de la unidad Quebrada Plata de la sección del Río Piedras (Lámina 15) han entregado una edad de 221^{+18}_{-16} Ma (Figura 7). De acuerdo con Noble et al. (1994), los circones analizados son de origen magmático y por tanto esta edad, similar a la obtenida de la unidad La Bocana y del plutón Marcabelí, es considerada como la edad de cristalización del complejo máfico.



Lámina 17. Tectonita esquisto-verde finamente bandeada con kink bands (Z) centimétricos, unidad Quebrada Plata, complejo Piedras, unión de los Ríos Naranjo y Piedras, zona de falla Zanjón-Naranjo.

Tabla 3. Determinaciones K-Ar del complejo máfico Piedras

Tipo de roca	Área muestreada (carta topográfica y cuadrícula de ref.)	Mineral	K %	Atom 40 %	Rad ^{40}AR (nl/g)	Edad (Ma)
UNIDAD QUEBRADA PLATA						
Anfibolita	cerca de Portovelo (Zaruma 653/9588)	Hornblenda	0.084	-	3.001	743 ± 13 †
Anfibolita	ca. 1km SW de Portovelo (Zaruma 6519/95882)	Hornblenda	0.05	75.43	1.389	647 ± 37
		Hornblenda	0.07	88.72	0.602	224 ± 34
Anfibolita	al oeste de Piedras (La Avanzada 620/9598)	Hornblenda	0.238	-	-	196 ± 8 *
UNIDAD ARENILLAS						
Anfibolita	Arenillas (Arenillas 604/9607)	Hornblenda	0.444	-	-	74 ± 1 *
		Hornblenda	0.370	91.23	1.062	72 ± 15
Anfibolita	puente de la vía Arenillas (Arenillas 6049/96072)	Hornblenda	0.358	76.17	1.051	74 ± 6
		Hornblenda	0.358	81.36	1.080	76 ± 7

Datos de Aspden et al., 1992; *Feininger y Silberman, 1982; y † Kennerley, 1980

Resumen de las condiciones y edad de metamorfismo al sur de la zona de falla Zanjón-Naranjo (Sub-provincia I).

Dentro de la sub-provincia I del complejo metamórfico El Oro, la división Tahuín ha sido afectada por un único evento metamórfico regional, generalmente prógrado. Aunque los datos petrográficos y estructurales disponibles son insuficientes para dibujar con precisión las varias isógradas minerales, es claro que el grado metamórfico se incrementa de sur a norte y varía desde débil-incipiente en la unidad El Tigre, hasta la facies superior de anfibolita en la unidad La Victoria. La unión entre las unidades El Tigre y La Victoria corresponde a una zona tectónica con rumbo E-W que marca el aparecimiento de un clivaje regional y el desarrollo de asociaciones minerales típicas de la zona de biotita (biotita ± clorita + moscovita + cuarzo) en la serie de facies metamórfica de baja presión (para una revisión ver Yardley, 1989). Más al Norte, en la unidad La Victoria, las asociaciones minerales que están típicamente primero en la zona de cordierita (cordierita + biotita + cuarzo) y luego en la zona de andalucita (cordierita + andalucita + biotita) también pueden ser reconocidas. La primera (inferior) zona de sillimanita está marcada por la presencia de fibrolita, la cual ocurre cerca del primer aparecimiento de andalucita. Sin embargo, conforme se acerca al contacto con el complejo granitoide Moromoro, la sillimanita aumenta su tamaño y abundancia.

En el complejo granitoide Moromoro (principalmente en la unidad La Bocana), y presentes ya sea como enclaves tectónicos o como material restítico xenolítico/migmatítico, se encuentran varios paragneises generalmente de alto-grado, considerados como equivalentes de la unidad La Victoria. Estos gneises a menudo contienen ensamblajes de gruesa sillimanita + feldespato ± granate ± cordierita ± biotita ± moscovita ± cuarzo y pertenecen a la segunda (superior) zona de sillimanita.

La total ausencia de cianita, estaurolita, y la presencia de granate sólo en los grados más altos, indica que el metamorfismo que afectó a la división Tahuín fue dominado por temperaturas altas-presiones bajas, tipo-Abukuma (Miyashiro, 1961). La mineralogía y las relaciones de campo de las unidades La Victoria y La Bocana indican que durante este evento las temperaturas fueron suficientemente elevadas para fundir los sedimentos pelíticos de la unidad La Victoria (i.e. la zona superior de sillimanita). El máximo metamórfico posiblemente ocurrió en el Triásico Tardío y fue contemporáneo con el emplazamiento de los complejos Piedras y Moromoro.

GEOLOGÍA DE LA SUB-PROVINCIA II

División mélange Palenque (Santa Rosa 636/9626)

Las rocas del complejo metamórfico El Oro entre la zona de falla Zanjón-Naranjo y la falla Jubones son interpretadas como un complejo estructural o zona regional de mélange, conjuntamente referidas como la división mélange Palenque. Éstas conforman la sub-provincia II (Figura 4) del complejo metamórfico; su nombre se debe al área que rodea el pueblo de Palenque localizado a 6km al sureste de Pasaje.

En el oeste, la división está enterrada bajo grandes depósitos no-consolidados, del Terciario Tardío a Cuaternario, de la planicie costera, y, en el este, la intruye y en parte suprayace el complejo volcánico-plutónico de supuesta edad terciaria. Inliers de rocas metamórficas han sido observados, o reportados, de varias localidades (e.g. al sur del pueblo Cerro Azul, a lo largo de la vía Paccha; el Río Daucay, río-arriba de Playas de Daucay; las cabeceras del Río Chilola, al oeste del Cerro Chillacocha), pero no existe suficiente información para mostrarlos en el mapa acompañante.

La matriz de la división mélange Palenque está dominantemente compuesta por rocas metasedimentarias que contienen varios, grandes, regionalmente extensos, limitados por fallas, bloques como inclusiones tectónicas. Litológica y mineralógicamente algunas de estas inclusiones pueden ser correlacionadas con tipos de rocas/asociaciones presentes en la sub-provincia I, pero la división también incluye a varios lentes de serpentinita y, a las oceánicas y asociadas rocas de alta presión del complejo ofiolítico Raspas. Geológicamente, estas inclusiones son distintas y por tanto exóticas respecto a la matriz metasedimentaria.

DIVISIÓN MÉLANGE PALENQUE–MATRIZ

Ningún camino/río cruza la división mélange Palenque por completo, pero, en el norte, en el Río Huizho al este de Pasaje (**Uzhcurrumi 640/9632**) existen frescos y accesibles afloramientos de las rocas de la matriz. La matriz está compuesta principalmente por metasedimentos de grano fino a medio, de grado bajo a medio. Son dominantes las pizarras y las filitas color oscuro (azul a negro a verde), semi-pelíticas, esquistosas, pero también están presentes esquistos cuarzo-sericíticos, esquistos feldespáticos, metagreywackes, cherts verdes a negros a grises, esquistos-verdes y raros esquistos anfibólicos (tremolita).

En afloramiento no es común observar estructuras sedimentarias y las rocas por lo general están fuertemente cizalladas y/o brechadas. Éstas incluyen horizontes fracturados, mezclados y pseudoconglomeráticos en los cuales existen clastos lentoides usualmente de material metasedimentario grueso de variables dimensiones (<1m) dentro de una matriz de grano más fino. En el norte, a lo largo de la falla Jubones, las rocas están fuertemente cizalladas y/o brechadas y silicificadas; son comunes las vetas de cuarzo blanco. Al oeste de Valle Hermoso, en el Río Viron y Río Viron Chico, en la zona de contacto con el complejo volcano-plutónico terciario, están presentes metasedimentos ricos en biotita (a menudo contienen cordierita). En el sur, a lo largo de la zona de falla La Palma-El Guayabo, al este de El Guayabo, andalucita y posiblemente cordierita están ampliamente desarrolladas como minerales de contacto. En esta misma área, inmediatamente al norte del complejo ofiolítico Raspas, varias inclusiones tectónicas de esquisto-verde, serpentinita y anfibolita (muy pequeñas para ser mostradas en el mapa acompañante) pueden ser observadas dentro de la matriz de la división mélange Palenque.

Aunque mineralógicamente variable, las rocas de la matriz típicamente contienen cuarzo, biotita, moscovita, clorita, albita, ± grafito, ± actinolita, ± epidota, ± granate (menor). Un ejemplo de esquisto con tremolita, color verde pálido, que también contiene epidota accesoria y minerales opacos, fue registrado en el Río Casacay (**Chilla 6445/96309**).

DIVISIÓN MÉLANGE PALENQUE – INCLUSIONES TECTÓNICAS

Complejo ofiolítico Raspas

El complejo ofiolítico Raspas tiene un rumbo E-W a lo largo de aproximadamente 45km y un ancho máximo de casi 6km. Está limitado al norte por la zona de falla La Palma-El Guayabo, y al sur por las zonas de falla represa Tahuín y Zanjón-Naranjo. Desde la finalización de la represa Tahuín algunas de las áreas bajas de este complejo, adyacentes al valle del Río Naranjo en el oeste, han sido inundadas.

La petrología de la parte occidental del complejo ofiolítico Raspas, el cual contiene los mejores ejemplos en los Andes del Norte de eclogitas y rocas de alta presión relacionadas, ha sido previamente descrita por Duque (1992, 1975); Feininger (1980); y Duque y Feininger (1974). En la siguiente descripción el complejo ha sido dividido en tres unidades informales – Río Panupali, El Toro y La Chilca.

Unidad Río Panupali (La Avanzada 633/9598)

La unidad Río Panupali forma la capa exterior del complejo ofiolítico Raspas y está compuesta por esquistos-verdes, foliados a masivos, verdes oscuros a pálidos, los cuales contienen actinolita, albita, cuarzo, clorita, epidota, ± granate, ± glaucofana, ± esfena, ± calcita, ± opacos (dominantemente sulfuros).

Además del Río Panupali, el cual proporciona una sección expuesta completa y casi continua a través de esta unidad, excelentes afloramientos de estas rocas también pueden ser vistos en la Quebrada Sambotambo (**La Avanzada 635/9597**) y, en el oeste, en el Río Arenillas, río-abajo de la represa Tahuín.

Estas rocas fueron consideradas por Feininger (1978) como precámbricas (formaban parte del Grupo Piedras, ver Figura 3), pero las relaciones generales de campo, y la presencia de glaucofana y granate en algunas muestras, indican que son parte integral del complejo ofiolítico Raspas.

Unidad El Toro (La Avanzada 611/9601)

La unidad El Toro comprende harzburgitas variablemente serpentinizadas y está particularmente bien expuesta en una serie de canteras localizadas inmediatamente al este de la represa Tahuín en el área de El Toro. El principal afloramiento de esta unidad tiene forma de media-luna y, en la parte occidental del complejo ofiolítico Raspas separa a la unidad Río Panupali (parte externa) de la unidad La Chilca (núcleo). La unidad El Toro probablemente se extiende al menos tan al occidente como la vía Arenillas-Alamor bajo los depósitos de la planicie costera, donde está expuesta como un pequeño cerro aislado en una abandonada cantera de serpentinita.

Litológicamente la unidad El Toro varía desde una harzburgita masiva de grano medio con una composición modal estimada de olivino (70%), ortopiroxeno (12%), anfíbol (8%), antigorita (5%), clorita (3%) y magnetita (2%), pasando por una harzburgita variablemente foliada y serpentinizada, hasta una serpentinita antigorítica altamente esquistosa, de grano fino (Feininger, 1980).

Unidad La Chilca (La Avanzada 617/9600)

La unidad La Chilca toma su nombre del pueblo La Chilca en el este. A excepción de las secciones de río, las litologías de esta unidad por lo general están fuertemente meteorizadas. La unidad forma parte del núcleo del complejo ofiolítico Raspas. Tiene un rumbo E-W aproximadamente a lo largo de 20km y un ancho máximo N-S de casi 3km.

La unidad La Chilca (anteriormente referida como la Formación Raspas, Feininger, 1978) contiene una variedad de rocas metamórficas de alta-presión, pero consiste principalmente en esquistos pelíticos con menores cantidades de esquistos azules y eclogitas. Descripciones litológicas y petrológicas de estas rocas han sido realizadas por Duque (1992) y Feininger (1980); gran parte del siguiente resumen se basa en su trabajo previo.

Esquistos pelíticos de grano grueso y menores cantidades de cuarcitas micáceas conforman casi el 70% de la unidad La Chilca. Cuando están frescos, los esquistos pelíticos son de color pálido gris-plata. Mineralógicamente, los esquistos están compuestos por cuarzo, moscovita fengítica, paragonita y granate, con cantidades menores (generalmente <10%) de grafito, rutilo, pirita, cloritoide-Mg, ± cianita.

En la unidad La Chilca, los esquistos azules y las eclogitas (Láminas 18 y 19) ocurren en aproximadamente proporciones iguales. Los esquistos azules típicamente son filitas azul-oscuro, de grano fino a medio, con pequeños porfiroblastos de granate (<2mm), y pueden contener más del 50% modal de glaucofana. Adicionalmente, contienen cantidades variadas de paragonita, fengita, moscovita, epidota, rutilo, ± cuarzo, ± apatito, ± pirita; los minerales secundarios incluyen clorita, ± esfena, ± albita, ± calcita.

Las eclogitas de la unidad La Chilca normalmente se encuentran como bloques rodados, rara vez han sido observadas en afloramientos (e.g. en el 'Cañón de las Eclogitas', Río Raspas, **La Avanzada 618/9601**), (Feininger, 1980). Las rocas son de color oscuro, de granulación fina a media y variablemente foliadas. Están compuestas por onfacita, granate y barroisita, a menudo con cantidades menores de clinozoisita, rutilo, cuarzo, ± apatito, ± pirita. En el 'Cañón de las Eclogitas', se encuentran gneises anfibólicos como capas de varios metros de espesor dentro de las eclogitas, estos gneises contienen barroisita (>50%), granate, zoisita, cianita, rutilo, pirita, ± onfacita, ± paragonita, ± cuarzo, ± apatito, ± moscovita.

En esta unidad también existen cantidades menores de esquistos-verdes (mineralógicamente idénticos a aquellos de la unidad Panupali), pegmatitas anfibólicas, granatitas (granate >50%) y bloques de jadeíta.

a



b

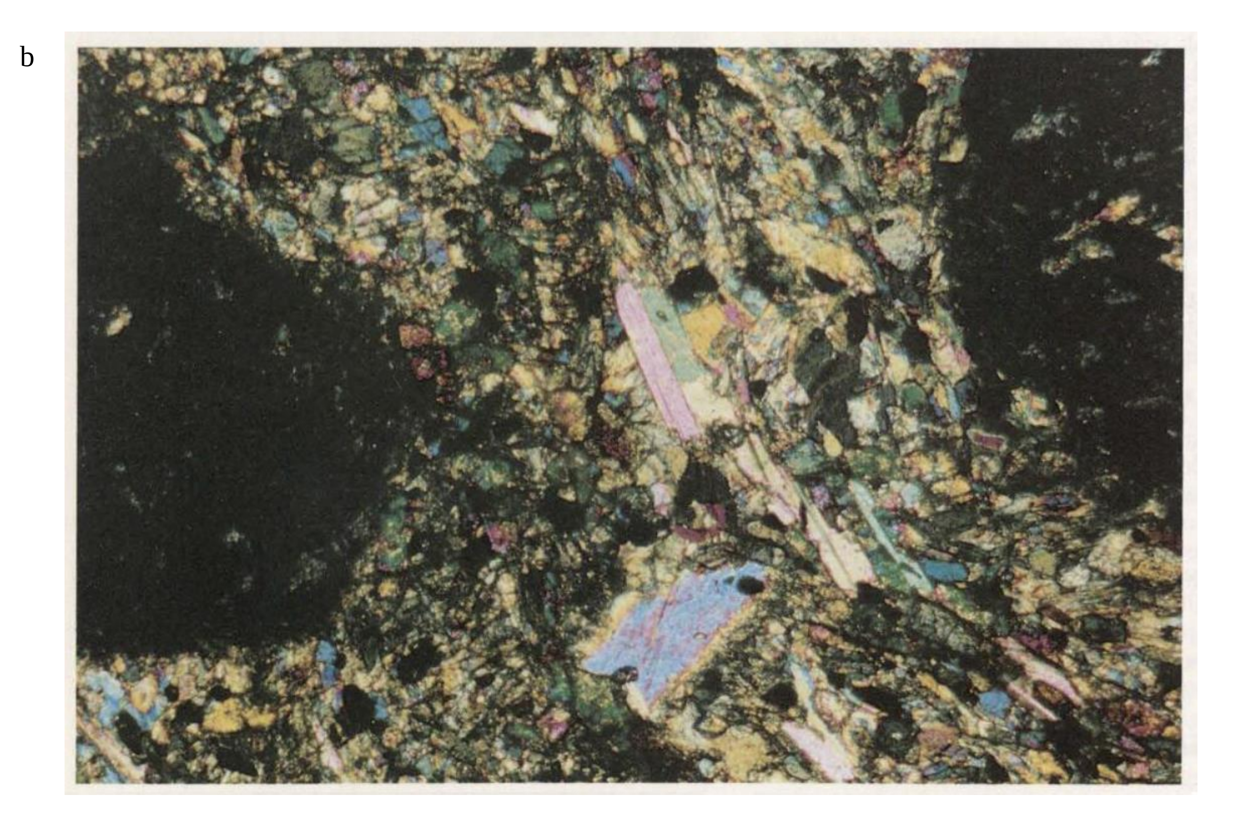
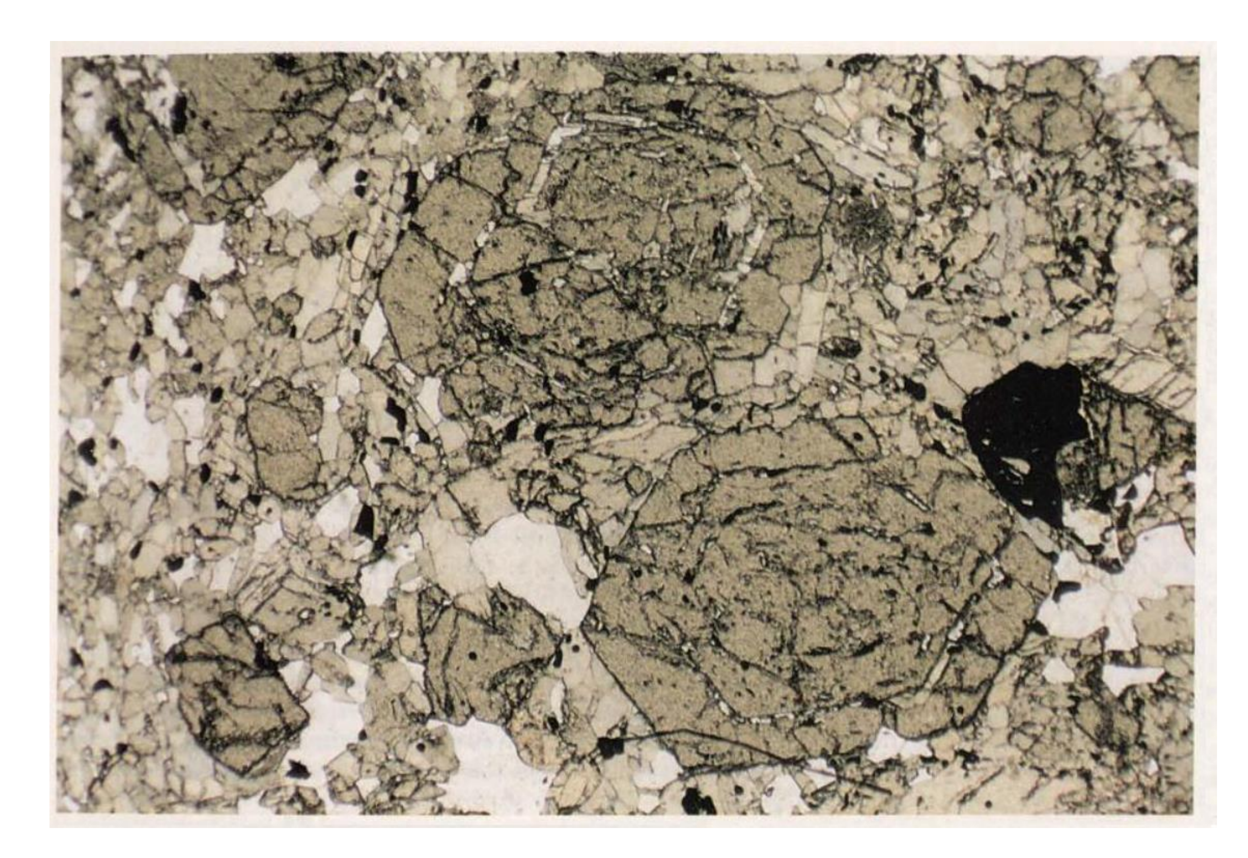


Lámina 18. Microfotografías de esquisto azul de la unidad La Chilca, complejo ofiolítico Raspas; los grandes porfiroblastos de granate son evidencia de recristalización junto con el anfíbol azul y las hojas de moscovita. **(a)** Nícoles paralelos, **(b)** Nícoles cruzados. Campo de visión ca.8.3mm. (*P. Henney, BGS)*

a



b

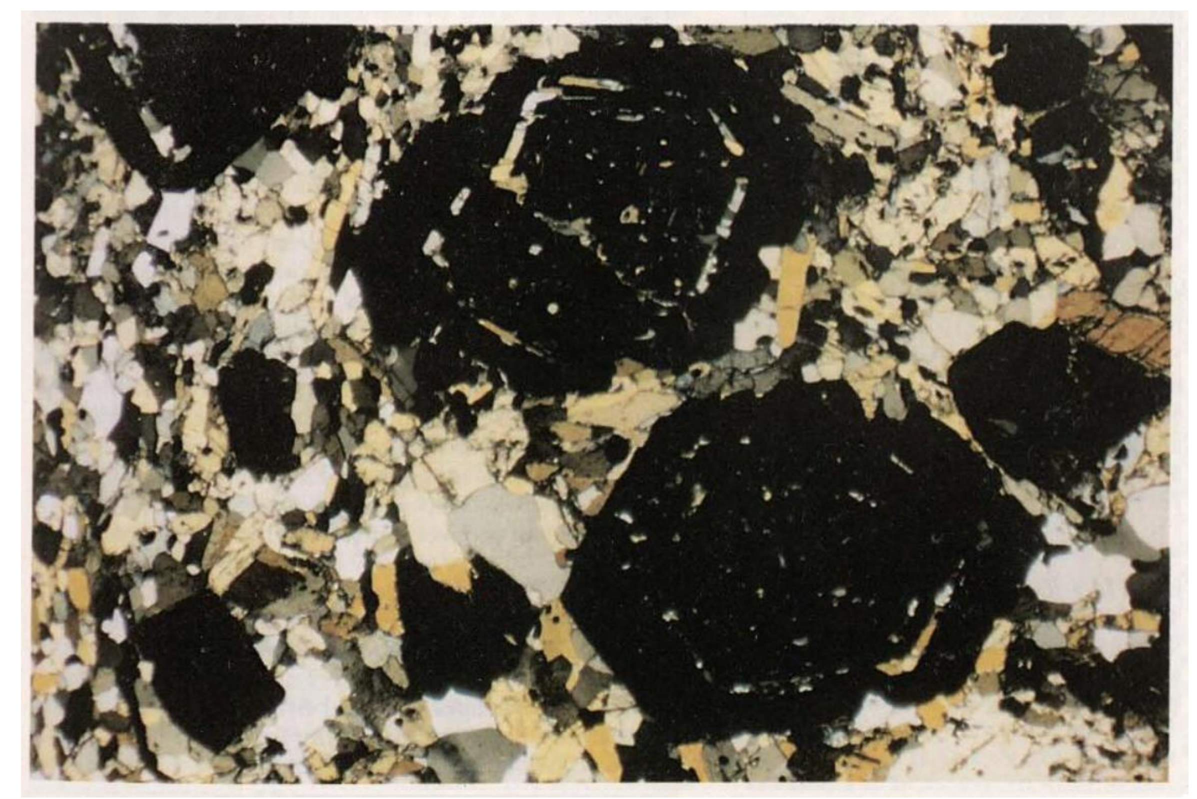


Lámina 19. Microfotografía de la eclogita de la unidad La Chilca; grandes, euhedrales porfiroblastos de granate junto con piroxeno onfacita y anfíbol azul-pálido (?crossita). Los granates tienen múltiples trayectos de inclusiones que indican un crecimiento episódico. La matriz contiene cuarzo, clinozoisita menor, rutilo y apatito. **(a)** Nícoles paralelos, **(b)** Nícoles cruzados. Campo de visión ca.8.3mm. (*P. Henney, BGS)*

Edad de la unidad La Chilca

Una datación K-Ar (fengita) de un esquisto pelítico de la unidad La Chilca, recolectado en el Río Raspas, entregó una edad de 132 ± 5 Ma (Feininger y Silberman, 1982). En general, esta edad concuerda con aquella obtenida de los esquistos azules colombianos (125 ± 15 a 120 ± 5 Ma) (Aspden y McCourt, 1986), y es interpretada como una probable edad de enfriamiento (?emplazamiento) para el complejo ofiolítico, bajo la temperatura de bloqueo de la fengita.

Metamorfismo del complejo ofiolítico Raspas (unidades La Chilca y Panupali)

De acuerdo con Duque (1992) (cf. Feininger, 1980) las eclogitas, esquistos azules, esquistos pelíticos y esquistos-verdes de las unidades La Chilca y Río Panupali se formaron a aproximadamente 9kb y 465°C. Todas estas rocas representan productos de metamorfismo prógrado de alta-presión/baja-temperatura y probablemente se formaron en una zona de subducción activa, para la cual se ha calculado un gradiente paleogeotermal aproximado de 13.8°C/km (Duque, 1993).

Unidades Limón Playa y Quera Chico

Dos grandes inclusiones limitadas por fallas, compuestas por granodiorita/migmatita y paragneises de medio- a alto-grado, han sido mapeadas dentro de la división mélange Palenque. Inmediatamente al norte del complejo ofiolítico Raspas se encuentra la unidad Limón Playa (**La Avanzada 618/9604**) y, en el noreste se encuentra la unidad Quera Chico (**Chilla 651/9627**).

La unidad Limón Playa tiene un ancho máximo de aproximadamente 4km, un rumbo E-W de ~20km de longitud, y consiste en una serie de lentes graníticos/migmatíticos limitados por fallas, que se encuentran intercalados tectónicamente con anfibolitas de la unidad Arenillas (ver a continuación). Entre el pequeño asentamiento de Limón Playa en el sur y La Avanzada en el norte, en el Río Santa Rosa, se encuentran afloramientos bastante continuos de estas rocas.

La unidad Quera Chico toma el nombre de una pequeña zona agrícola localizada en el Río Quera. Aunque la unidad aflora en grandes áreas (>100 km^2), generalmente está pobremente expuesta y/o fuertemente meteorizada, y el único (parcial) acceso vehicular es por la vía no-pavimentada de Chilla en el extremo noreste. En otras partes, el acceso es a través de una red de senderos con mulas, los cuales se encuentran desde la vía principal Pasaje-Uzhcurrumi en el norte, y conectan las varias y dispersas comunidades agrícolas localizadas en los Ríos Cune (**Chilla 653/9630**), Quera (**Chilla 650/9628**), Casacay/Dumari (**Chilla 645/9628**) y Huizho (**Chilla 641/9629**), con Dumari, Chilla y el área de Palenque. Debido al escarpado terreno, los ríos que cruzan la unidad Quera Chico usualmente contienen abundantes bloques grandes. A menudo el acceso es difícil y las secciones de afloramientos continuos son relativamente raras. En el norte la unidad está limitada por fallas, pero en el sur está intruida y/o suprayacida por rocas terciarias plutónicas/volcánicas. Se debe señalar que el contacto meridional de la unidad, al oeste de Chilla, no está bien definido y se requiere un futuro trabajo en esta área, preferiblemente respaldado por estudios geocronológicos.

Litológica y mineralógicamente las unidades Quera Chico y Limón Playa son similares y abarcan granodioritas variablemente foliadas con biotita, ± moscovita, ± granate, granodioritas migmatíticas, migmatitas y paragneises de medio- a alto-grado. Por lo general, los paragneises están compuestos por cuarzo, plagioclasa, (?)feldespato alcalino, biotita, ± cordierita, ± sillimanita (± fibrolita), ± granate menor, apatito menor, ± turmalina menor. Dentro de las granodioritas predominan los xenolitos gnéisicos /migmatíticos de origen sedimentario. Schlieren de biotita y clastos de cuarzo blanco de veta son también relativamente comunes. En la unidad Limón Playa, están esparcidos xenolitos de material anfibolítico (Río Santa Rosa, represa Agua Potable, **La Avanzada 617/96068**), y en algunas áreas, se puede observar lo que se interpreta como un granitoide híbrido debido a la asimilación/mezcla de la anfibolita con el magma granodiorítico (Río Santa Rosa, **La Avanzada 6173/96069**).

Edad de la unidad Limón Playa

Con base en datos U/Pb de circón, se ha obtenido una edad de 200 ± 19 Ma para la unidad Limón Playa. Se piensa que edades más jóvenes de 78 ± 1 y 82 ± 1 Ma obtenidas de monacitas están relacionadas con un periodo tardío de metamorfismo y deformación regional (Noble et al., 1994).

Unidades de granitoides innominadas

Otras tres inclusiones tectónicas de granodiorita moscovítica-biotítica fuertemente cizallada y meteorizada han sido mapeadas en la división mélange Palenque. No se ha asignado un nombre específico a estos cuerpos, pero están localizados al sur de la falla Jubones en el extremo norte, e inmediatamente al norte de la falla Zanjón-Naranjo en el extremo oeste.

Adicionalmente, al este de Aserrío, expuesto en el Río Raspas aproximadamente a 300m río-abajo de la unión del Río Colorado (**Santa Rosa 635/9623**), un afloramiento de similar granodiorita biotítica, milonítica fue observado dentro de una secuencia mixta de serpentinita/filita negra. Esta ocurrencia es muy pequeña para mostrarla en el mapa acompañante.

Unidades Arenillas y Taqui

Estas unidades de anfibolita máfica toman el nombre del pueblo de Arenillas en el oeste (**Arenillas 604/9607**) y el prominente cerro Peña de Taqui en el noreste (como Tarqui en la edición de 1985 del mapa topográfico 1:50000) (**Chilla 657/9628**). Ambas forman cuerpos estrechos, pero lateralmente persistentes, con rumbo E-W, espacialmente asociados con las unidades ‘granitoides’ Limón Playa y Quera Chico.

En el sur, la unidad Arenillas puede ser rastreada por un mínimo de 14km a lo largo de su rumbo, desde el pueblo de Arenillas en el oeste, hacia el este en el Río Santa Rosa. En el oeste, la unidad consiste en una serie de *slivers* lentoides, limitados por fallas, que están tectónicamente intercalados con la unidad Limón Playa. Estas relaciones están bien expuestas a lo largo de la nueva autopista Arenillas-Santa Rosa al este y norte del puente sobre el Río Arenillas (**Arenillas 606/9605**), y sugieren que las anfibolitas Arenillas quizá fueron originalmente intruidas por la unidad Limón Playa. En algunos lugares, la unidad Arenillas está brechada y veteada en red por material rico en cuarzo, características que estarían relacionadas con este evento.

La unidad Taqui se ubica a lo largo del límite septentrional de la unidad Quera Chico, con la cual está en contacto tectónico. En el este, la unidad tiene un ancho máximo aproximadamente de 1.5km y puede ser rastreada por un mínimo de 7km hacia el oeste donde está expuesta en el Río Quera (**Chilla 651/9627**). Generalmente, es de grano más fino y está más brechada que la unidad Arenillas y, aunque ambas anfibolitas esencialmente consisten en plagioclasa y hornblenda, existen menores diferencias mineralógicas en lámina delgada. La unidad Arenillas contiene hornblenda café, notablemente pleocroica, junto con menores cantidades de circón, clinopiroxeno, cuarzo y epidota. En contraste, el anfíbol de la unidad Taqui, posiblemente en parte actinolita, es de color verde-pálido; no se ha detectado clinopiroxeno en estas rocas, pero si existe esfena y rutilo como accesorios.

Edad de la unidad Arenillas

La edad de la unidad Arenillas no ha sido establecida, pero de acuerdo con su correlación con la unidad Quebrada Plata, es considerada como del Triásico Tardío. Las edades minerales K-Ar (hornblenda) obtenidas de estas anfibolitas varían desde 72 ± 15 a 76 ± 7 Ma (Tabla 3) y son interpretadas como de reseteo (ver también Aspden et al., 1992). Estas edades son similares a las 'jóvenes' edades de monacita obtenidas de la unidad Limón Playa.

Unidades de serpentinitas innominadas

Existen como inclusiones tectónicas dentro de la división mélange Palenque y son particularmente comunes en el noreste donde forman un cinturón discontinuo, con rumbo aproximado E-W, que puede ser rastreado desde Palenque/Hacienda San José (**Chilla 639/9625**) en el este, en dirección oeste hacia San Joaquín y Ugarte. Dos pequeños lentes de serpentinita están presentes en el sur, en la parte oriental de la zona de falla La Palma-El Guayabo, zona de falla que define el límite septentrional del complejo ofiolítico Raspas.

Además de las serpentinitas innominadas de la división mélange Palenque, inmediatamente al sur de la zona de falla Zanjón-Naranjo, a lo largo de la frontera con Perú, al sur de Chacras, dentro de la unidad Quebrada Plata está expuesto un pequeño lente de serpentinita. De acuerdo con Feininger (1978), esta serpentinita puede ser rastreada hacia el este por varios kilómetros, pero, por ejemplo, en la Quebrada Obrajales (**Arenillas 594/9595**), al oeste de Palmales donde la anfibolita de la unidad Quebrada Plata actualmente es extraída para la construcción de vías, no se ha confirmado su presencia.

Litológicamente, estas inclusiones están compuestas principalmente por serpentinitas, pero también contendrían parches de filitas grafíticas negras y/o silicificadas, horizontes chertosos menores y algunas rocas-verdes (e.g. Río Palenque, cerca de la Hacienda San Gregorio, **Santa Rosa 637/9626**). Como se indicó anteriormente, un bloque de granodiorita milonítica de extensión desconocida fue observado en la unidad de serpentinita innominada al este de Aserrío.

Respecto a su mineralogía, las serpentinitas contienen dominantemente antigorita, cantidades menores de crisotilo, y se puede distinguir cristales relictos de olivino y (?)orto-piroxeno. Los minerales accesorios incluyen espinela, calcita, ± rutilo, ± esfena.

Origen y edad de las inclusiones tectónicas al norte de la zona de falla Zanjón-Naranjo

Litológica y mineralógicamente los granitoides y paragneises de las unidades Limón Playa y Quera Chico son idénticos a las rocas presentes en la unidad La Bocana y en las porciones de alto-grado de la unidad La Victoria, al sur de la zona de falla Zanjón-Naranjo. Así mismo, las unidades Arenillas y Taqui son petrológica y (en parte) geoquímicamente (ver a continuación) similares a las anfibolitas de la unidad Quebrada Plata. La cercana relación espacial entre los granitoides y las anfibolitas dentro de la división mélange Palenque también refleja aquello mostrado por las unidades La Bocana y Quebrada Plata. Estas observaciones, junto con datos U/Pb, indican que las unidades Limón Playa y Quera Chico, y las unidades Arenillas y Taqui, pueden ser correlacionadas con, y probablemente fueron derivadas de, las unidades La Bocana y Quebrada Plata respectivamente.

La derivación de las serpentinitas que pertenecen a la división mélange Palenque es menos segura, pero la fuente más obvia, especialmente para aquellos cuerpos ubicados en la zona de falla La Palma-El Guayabo, sería la unidad El Toro del complejo ofiolítico Raspas.

Intentos para datar la matriz de la división mélange Palenque han sido hasta el momento infructuosos, pero se asume que probablemente es del (?)Jurásico más Tardío a Cretácico. La edad K-Ar (fengita) de 132 ± 5 Ma (Feininger y Silberman, 1982), obtenida de la unidad la Chilca del complejo ofiolítico Raspas, podría concordar con este rango general de edades.

GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL

Antecedentes

Un total de 59 muestras de roca-total del complejo metamórfico El Oro, cuyas ubicaciones se muestran en la Figura 8, fueron analizadas por espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRFS). Estos análisis fueron llevados a cabo en dos series; aquellas cuyo código tiene el prefijo 'SH' (4 muestras) fueron analizadas en la Universidad de Keele (UK); las otras muestras fueron analizadas por el Servicio Geológico Británico (BGS), Grupo de Química Analítica, Nottingham. Para todas las muestras, los elementos mayores fueron reportados como porcentajes en peso (wt%): SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 (Fe total tratado como férrico), MnO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O y P_2O_5. El porcentaje de las pérdidas por ignición (LOI-loss on ignition) también fue registrado. El grupo de elementos traza analizado, reportado en partes por millón (ppm), varía entre dos series. La mayoría de muestras incluye determinaciones para As, W, Bi, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, Sb, Ba, La, Ce, Pb, Th y U. Sin embargo, en la serie 'SH' no se analizó As, W, Bi, Co, Mo, Ag, Sn, Sb y U.

El siguiente resumen es tomado principalmente de un reporte no-publicado por Fortey y Gillespie (1993) 'Assessment of geochemical analyses of igneous rocks from Ecuador' [Valoración de análisis geoquímicos de rocas ígneas del Ecuador].

Complejo granitoide Moromoro

Los análisis de roca-total obtenidos del complejo granitoide Moromoro (unidad La Bocana 10 análisis; plutón Marcabelí 7 análisis; y plutón El Prado 5 análisis) se enlistan en la Tabla 4. La composición normativa de estas rocas, junto con varios índices geoquímicos están en la Tabla 5.

Con base en estos análisis los plutones Marcabelí y El Prado consisten principalmente en granodioritas y menores cantidades de monzogranitos, mientras que los granitoides de la unidad La Bocana caen mayormente en el campo del monzogranito, pero también incluyen granitoides ricos en cuarzo y granodioritas (Figura 9).

De acuerdo con Chappell y White (1974) y Pitcher (1983), los criterios de campo, mineralógicos y químicos pueden ser usados para distinguir a granitos que incorporan una alta proporción de material cortical (tipo-S) de los granitos que esencialmente se derivaron del manto (tipo-I). Los datos isotópicos también son importantes, pero no están disponibles para la presente investigación. Dos de los diagramas geoquímicos utilizados son Al/(Na + K + Ca/2) v. SiO_2 y K_2O v. Na_2O representados en las Figuras 10 y 11 respectivamente. En la Figura 10 la mayoría de las muestras caen en el campo tipo-S y se puede observar que, aunque las muestras de La Bocana tienen un rango de composición, éstas son normalmente muy peraluminosas. En contraste, los plutones Marcabelí y El Prado son ligeramente peraluminosos y dos muestras caen en el campo meta-aluminoso (tipo-I). En la Figura 11 los granitoides caen en los campos tipo-S-I, con la mayoría de las muestras de La Bocana en el lado tipo-S y los granitos Marcabelí y El Prado en el lado tipo-I.

Diferencias similares se pueden ver en el diagrama ACF (Figura 12) donde, con una excepción, los análisis de Marcabelí y El Prado, siendo más ricos en CaO, tienden a ubicarse en el área de la plagioclasa-hornblenda-biotita, mientras que el principal grupo de las muestras de La Bocana se extiende sobre la línea de conexión plagioclasa-biotita. Este diagrama está realizado asumiendo que el 85% de hierro total está en estado ferroso. Debido a que la mayoría de la variación entre unidades está en las proporciones relativas de CaO y Al_2O_3-K_2O-Na_2O, lo asumido puede ser justificado.

Estos diagramas sugieren que los plutones Marcabelí y El Prado son similares en composición y comprenden dominantemente granitoides tipo-I, pero también contendrían variantes tipo-S. En contraste, la unidad La Bocana parece ser principalmente tipo-S, pero también contendría granitoides tipo-I, los cuales, geoquímicamente, parecen ser similares a los plutones Marcabelí y El Prado. Como se mencionó anteriormente, el plutón Marcabelí contiene núcleos de circón con edades heredadas en un rango de 0.546 a 2.876 billones ($\times 10^9$) de años (Noble et al., 1994). Estos cristales deben haber sido derivados de una fuente cortical más antigua, por tanto, su presencia indicaría el reciclamiento de algo de material cortical pre-existente durante la formación del plutón Marcabelí.

El uso de diagramas spider normalizados rock/ORG (ocean ridge granite) de elementos traza ha sido discutido por Pearce et al. (1984). De acuerdo con estos autores, el enriquecimiento de elementos litófilos de radio iónico grande (large ion lithofile elements – LIL) es un rasgo común de granitos relacionados con subducción (granitos de arco volcánico) y granitos relacionados con rift (granitos intraplaca), pero es reducido, o ausente, en granitos de dorsal oceánica. Los granitos intraplaca también tienen un enriquecimiento en Ta y Nb, y valores para Ce, Zr e Y superiores a 1, o cercanos a 1 (para ambientes con litósfera atenuada). Los granitos de arco volcánico típicamente tienen valores de Ta y Nb cercanos a 1, y los otros elementos menores que 1. Sin embargo, el grado de enriquecimiento de elementos LIL en granitos de arco volcánico varía de acuerdo con la naturaleza del ambiente del arco. Los autores citan datos de un granito de Chile, el cual tiene un enriquecimiento particularmente fuerte de elementos LIL combinado con valores de Ta y Nb cercanos a 2; usando estos elementos el granito es difícil de distinguir de ciertos granitos intraplaca. Los granitos relacionados con colisiones son similares al granito chileno, pero tienen un marcado empobrecimiento de Zr e Y, el cual puede ser suficiente para distinguirlos geoquímicamente. Los presentes análisis no incluyen el grupo completo de elementos usados por Pearce et al. (1984), pero es suficiente para determinar al menos la forma general del diagrama spider normalizado del complejo granitoide Moromoro.

Aunque las muestras de La Bocana tienen un grado menor de dispersión, los diagramas spider rock/ORG de La Bocana, Marcabelí y El Prado son notablemente similares (Figuras 13, 14 y 15) e indican el enriquecimiento de elementos LIL junto con valores de Nb y Ce cercanos a 1, y Zr e Y menores que 1. Por tanto, usando los criterios de Pearce et al. (1984), se sugiere que el complejo granitoide Moromoro puede estar relacionado con un proceso de subducción o colisión.

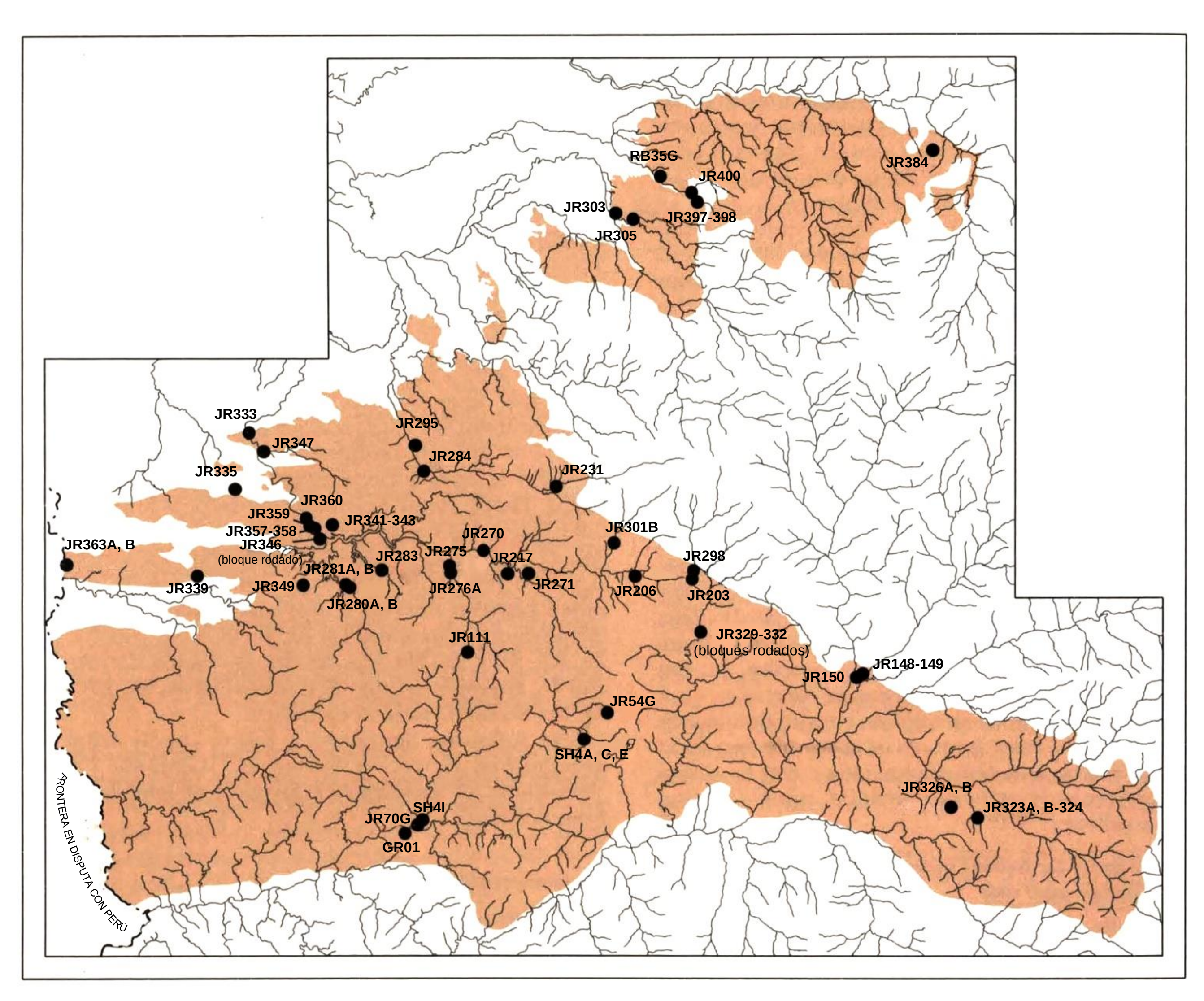


Figura 8. Mapa de ubicación de las muestras de roca-total.

Pearce et al. (1984) también usaron el diagrama discriminante Rb v. Y+Nb para distinguir entre granitos formados en varios ambientes tectónicos. De acuerdo con este diagrama (Figura 16) todos los granitos Moromoro pueden ser considerados como granitos de arco volcánico. Sin embargo, la unidad La Bocana está muy cerca del límite con los granitos intra-placa y generalmente contiene menos Rb que las muestras de Marcabelí y El Prado, quizá sugiriendo un ambiente más continental.

En resumen, se concluye que el complejo Moromoro contiene predominantemente granitoides tipo-S pero también incluye algunos tipo-I, además, estas rocas probablemente se formaron o en un ambiente de subducción o de colisión.

Complejo máfico Piedras

En la siguiente descripción las unidades Arenillas y Taqui, las cuales se encuentran como inclusiones tectónicas dentro de la división mélange Palenque, son consideradas como parte del complejo máfico Piedras del cual se piensa se derivaron. Un total de 15 análisis de roca-total están disponibles para el complejo máfico Piedras (unidad Quebrada Plata 11; unidad Arenillas 3; y unidad Taqui 1), estos se enlistan en la Tabla 6. La composición mineral normativa de estas rocas, junto con varios índices geoquímicos se encuentran en la Tabla 7.

Aunque susceptibles a la movilidad de álcalis durante la alteración, los diagramas K_2O v. SiO_2 y $Na_2O + K_2O$ v. SiO_2 son importantes diagramas de clasificación, e indican que el complejo máfico Piedras, con la excepción de la muestra de Taqui, consiste en basaltos que pertenecen a la serie de bajo-K (toleítica) (Figuras 17 y 18). Para evitar el problema de la potencial pérdida de álcalis, Winchester y Floyd (1977) sugirieron que las rocas ígneas alteradas y/o metamorfizadas podrían ser discriminadas por medio de proporciones de elementos traza relativamente inmóviles y usando su diagrama Zr/Ti v. Nb/Y. En la Figura 19 se puede observar que las muestras caen en el campo de andesita basáltica.

En el diagrama AFM (Figura 20) los análisis forman un grupo bastante bien-definido con una tendencia hacia el enriquecimiento en hierro. Geoquímicamente las unidades Quebrada Plata y Arenillas parecen ser virtualmente idénticas, lo que respalda la correlación hecha anteriormente en este reporte. Sin embargo, en ciertos diagramas la muestra Taqui es algo anómala respecto a su enriquecimiento en K_2O, TiO_2, Sr y Zr, y un posible ligero empobrecimiento en MgO (Figuras 21, 22 y 24). Puesto que existe un sólo análisis de la unidad Taqui, la importancia de estas diferencias permanece incierta.

Tabla 4. Análisis de roca-total del complejo granitoide Moromoro

	UNIDAD LA BOCANA										PLUTÓN MARCABELÍ							PLUTÓN EL PRADO				
Muestra	**111**	**280A**	**280B**	**281A**	**281B**	**283**	**329**	**330**	**331**	**332**	**GR01**	**SH4A**	**SH4C**	**SH4E**	**SH4I**	**54G**	**70G**	**323A**	**323B**	**324**	**326A**	**326B**
SiO_2	73.08	73.56	71.52	73.31	70.21	64.71	72.64	69.19	76.78	80.36	76.75	72.04	71.87	72.73	72.98	66.40	72.18	70.72	70.29	62.94	70.67	71.94
TiO_2	0.37	0.74	0.73	0.62	0.76	0.74	0.35	0.62	0.37	0.33	0.03	0.49	0.45	0.54	0.34	1.00	0.32	0.47	0.46	0.60	0.44	0.45
Al_2O_3	14.42	11.13	11.90	12.97	14.27	17.05	14.68	14.92	12.25	10.59	13.53	14.17	14.37	13.60	14.67	14.71	14.72	14.56	14.70	16.30	14.54	14.62
Fe_2O_3T	2.58	5.40	5.74	5.06	5.34	6.35	2.59	4.11	2.88	2.41	0.96	3.20	3.15	3.58	2.57	5.62	2.54	3.41	3.30	5.88	3.01	3.12
MnO	0.05	0.11	0.16	0.13	0.09	0.12	0.05	0.07	0.05	0.04	0.04	0.07	0.07	0.07	0.06	0.10	0.06	0.06	0.06	0.10	0.07	0.07
MgO	0.96	2.14	2.27	1.51	1.76	2.40	0.77	1.35	0.83	0.64	0.10	0.99	1.02	1.10	1.10	2.45	1.14	1.66	1.58	2.80	1.17	1.21
CaO	1.62	1.60	1.42	1.07	1.61	2.28	2.11	2.14	0.78	0.64	0.39	1.82	2.15	1.94	2.23	4.41	2.32	2.35	2.35	5.43	1.94	2.09
Na_2O	2.92	1.82	1.75	1.68	2.13	2.21	3.99	3.75	1.88	1.81	4.39	3.14	3.37	2.94	3.74	3.23	3.72	3.15	3.19	2.94	3.34	3.35
K_2O	3.22	2.38	2.42	2.59	2.66	2.71	2.18	2.33	2.56	2.42	3.94	3.04	2.63	2.93	2.76	1.68	2.79	3.09	3.11	1.98	3.65	3.35
P_2O_5	0.11	0.23	0.09	0.09	0.11	0.08	0.25	0.35	0.14	0.17	0.05	0.16	0.16	0.12	0.11	0.2	0.1	0.14	0.15	0.12	0.16	0.17
LOI	1.09	0.73	1.09	1.46	1.59	1.88	0.82	1.15	1.49	0.92	0.50	0.92	0.96	0.84	0.79	0.71	0.76	0.79	0.74	0.66	0.59	0.51
Total	100.42	99.84	99.09	100.49	100.53	100.53	100.43	99.98	100.01	100.33	100.68	100.04	100.2	100.39	101.35	100.51	100.65	100.40	99.93	99.75	99.58	100.88
As	0	3	3	5	3	2	2	4	3	4	0	-	-	-	-	0	0	2	1	4	2	2
W	5	2	2	3	2	5	4	3	4	3	2	-	-	-	-	2	2	2	2	4	5	5
Bi	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	1	0	0	0	0	0	0
V	39	85	94	74	93	115	25	44	42	31	1	46	44	57	40	83	30	41	42	107	33	38
Cr	55	83	85	100	77	100	29	36	55	47	35	37	31	32	25	58	29	40	45	46	31	37
Co	5	15	18	13	15	14	5	8	8	6	0	-	-	-	-	13	6	8	9	15	6	7
Ni	7	36	35	16	22	23	4	11	11	7	1	12	9	12	12	16	8	21	16	10	9	9
Cu	9	19	20	18	36	14	0	11	14	7	1	17	6	6	9	19	8	14	15	26	7	9
Zn	41	88	83	63	68	85	35	60	42	42	20	55	54	58	42	62	35	50	52	89	53	56
Rb	101	92	91	80	89	92	83	118	99	89	158	132	123	132	118	60	110	136	138	72	154	154
Sr	184	129	119	131	168	198	128	126	81	89	17	123	123	104	104	144	99	114	120	274	139	132
Y	20	23	25	28	29	34	13	18	20	16	28	27	23	25	25	24	22	13	15	20	21	23
Zr	117	187	216	275	236	218	115	194	212	251	49	166	167	188	119	217	116	164	169	130	152	159
Nb	7	13	13	11	11	11	8	11	8	5	7	8	9	10	7	7	6	8	7	5	9	8
Mo	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	1	0	0	0	3	0	0
Ag	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	-	-	-	-	2	0	0	0	4	0	0
Sn	0	0	0	0	0	0	3	2	3	2	1	-	-	-	-	0	0	4	3	1	5	6
Sb	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	0	0	1	2	1	0	1
Ba	565	759	810	807	736	553	197	114	364	287	292	492	276	385	444	248	338	308	315	438	325	323
La	16	12	25	26	29	33	13	9	22	17	10	9	9	12	4	18	13	14	15	16	16	16
Ce	40	36	60	66	70	70	42	28	57	46	28	41	34	43	42	38	41	44	48	36	40	47
Pb	30	12	9	24	22	20	28	24	17	15	18	18	16	17	15	12	14	21	17	36	20	22
Th	9	6	10	13	14	16	5	3	9	6	5	7	7	10	7	5	7	7	7	8	8	7
U	1	3	3	1	1	3	0	2	3	1	3	-	-	-	-	1	3	1	0	1	1	1

Tabla 5. Composición normativa e índices geoquímicos del complejo granitoide Moromoro (Kelsey, 1965)

	UNIDAD LA BOCANA										PLUTÓN MARCABELÍ						
Muestra	**111**	**280A**	**280B**	**281A**	**281B**	**283**	**329**	**330**	**331**	**332**	**GR01**	**SH4A**	**SH4C**	**SH4E**	**SH4I**	**54G**	**70G**
Cuarzo	37.84	22.69	21.74	23.31	19.57	14.76	17.63	15.46	26.08	28.70	34.52	35.74	34.99	37.19	32.22	26.03	32.05
Corindón	3.44	1.61	2.04	2.83	2.60	3.26	1.33	1.59	2.65	2.11	1.45	2.79	2.46	2.35	1.74	0.04	1.59
Ortoclasa	18.99	7.06	7.23	7.63	7.84	7.99	6.42	6.90	7.57	7.13	23.14	18.01	15.55	17.30	16.29	9.92	16.41
Albita	24.66	7.73	7.49	7.09	8.98	9.33	16.45	15.90	7.96	7.64	36.92	26.63	28.53	24.86	31.60	27.32	31.34
Anortita	7.30	3.23	3.27	2.35	3.62	5.38	4.41	4.17	1.48	1.03	1.60	8.00	9.63	8.83	10.33	20.56	10.81
Hiperstena	5.16	5.64	6.11	4.71	5.05	6.53	2.37	3.87	2.62	2.10	1.49	5.89	5.96	6.55	5.57	11.82	5.65
Enstatita	2.39	2.67	2.86	1.88	2.18	2.98	0.96	1.68	1.03	0.80	0.25	2.47	2.54	2.74	2.74	6.10	2.83
Ferrosilita	2.77	2.96	3.25	2.83	2.86	3.55	1.41	2.19	1.58	130	1.24	3.42	3.42	3.81	2.83	5.72	2.82
Magnetita	0.56	0.59	0.63	0.55	0.58	0.69	0.28	0.45	0.31	0.26	0.21	0.70	0.69	0.78	0.56	1.22	0.55
Cromita	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ilmenita	0.70	0.71	0.70	0.59	0.72	0.70	0.33	0.59	0.35	0.31	0.06	0.93	0.86	1.02	0.64	1.90	0.60
Apatito	0.26	0.21	0.11	0.11	0.13	0.09	0.30	0.42	0.17	0.20	0.12	0.38	0.38	0.28	0.26	0.47	0.24
Índice de dif.	81.48	37.48	36.46	38.03	36.39	32.28	40.51	38.26	41.61	43.48	94.58	80.38	79.08	79.34	80.11	63.27	79.80
Índice de color	6.43	6.94	7.45	5.86	6.35	7.93	2.98	4.91	3.29	2.67	1.76	7.53	7.51	8.36	6.78	14.95	6.81
número mg	46.44	48.01	47.95	41.01	43.44	46.82	40.92	43.35	40.17	38.22	19.53	41.89	43.00	41.72	49.93	50.39	51.12

	PLUTÓN EL PRADO				
Muestra	**323A**	**323B**	**324**	**326A**	**326B**
Cuarzo	15.85	15.65	0.00	15.25	16.03
Corindón	1.05	1.09	0.00	0.98	1.04
Ortoclasa	9.11	9.21	0.00	10.84	9.82
Albita	13.29	13.52	0.00	14.21	14.07
Anortita	5.36	5.35	0.00	4.31	4.59
Kaliofilita	0.00	0.00	5.47	0.00	0.00
Acmita	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00
N Meta silicato	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00
K Meta silicato	0.00	0.00	74.93	0.00	0.00
Hiperstena	3.91	3.76	0.00	3.10	3.17
Enstatita	2.06	1.97	0.00	1.46	1.50
Ferrosilita	1.84	1.79	0.00	1.64	1.68
Olivino	0.00	0.00	1.15	0.00	0.00
Forsterita	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00
Fayalita	0.00	0.00	0.62	0.00	0.00
Magnetita	0.37	0.36	0.00	0.33	0.34
Cromita	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ilmenita	0.45	0.44	0.12	0.42	0.42
Apatito	0.17	0.18	18.45	0.19	0.20
Calcita	0.00	0.00	-17.26	0.00	0.00
Deficiencia SiO_2	0.00	0.00	-25.27	0.00	0.00
Índice de dif.	38.25	38.38	5.47	40.31	39.92
Índice de color	4.72	4.56	1.55	3.85	3.94
número mg	53.14	52.73	52.59	47.52	47.47

Figura 9. Diagrama ternario QAP (de Streckeisen, 1976) con base en los valores normativos CIPW del complejo Moromoro (Q = Cuarzo, Or = Ortoclasa, Pl = Anortita + Albita).

Figura 10. Índice de aluminosidad vs. SiO_2 para el complejo Moromoro. Campos tipo-I y tipo-S de Chappell y White (1974).

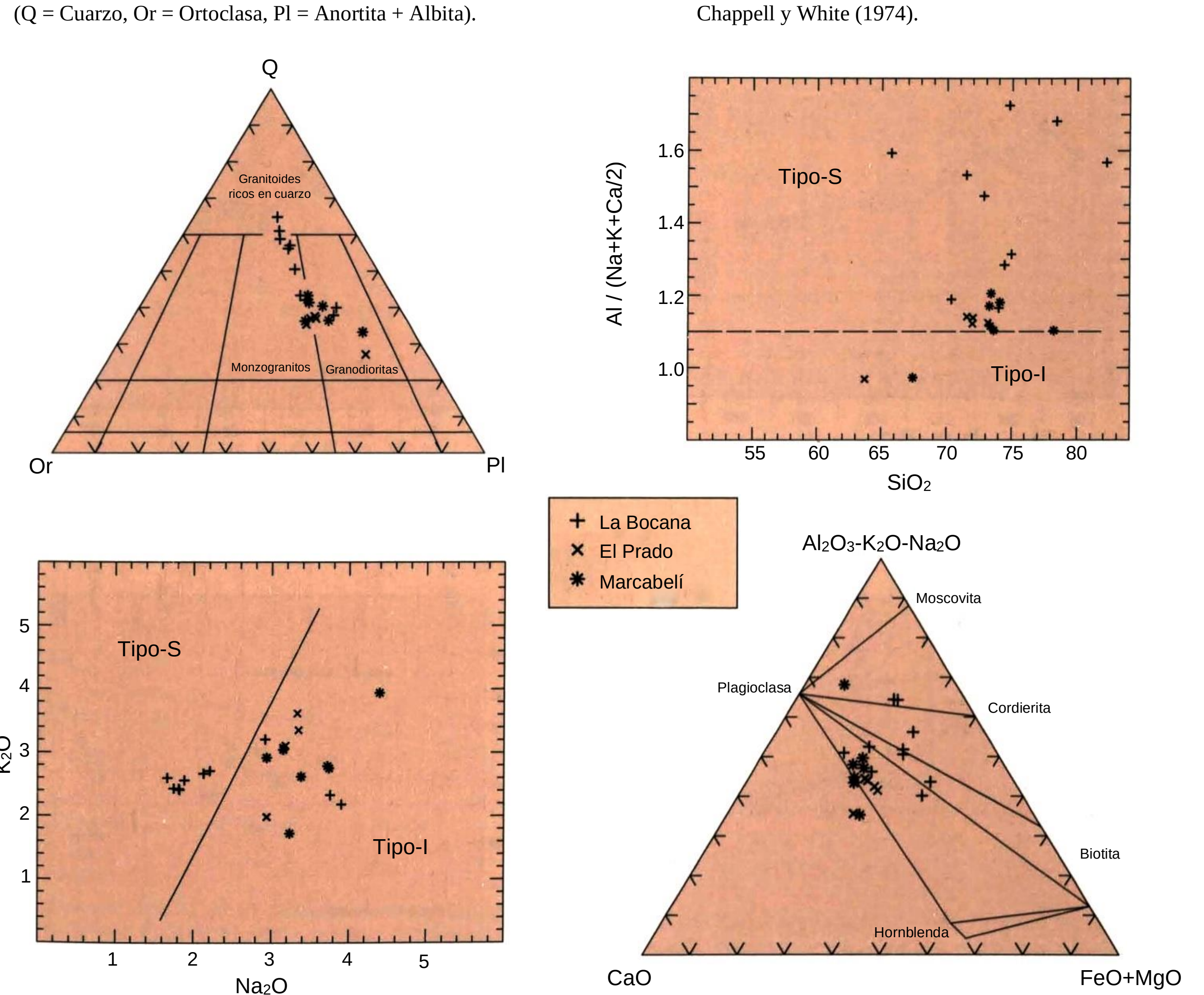


Figura 11. Diagrama K_2O vs. Na_2O para el complejo Moromoro. Campos tipo-I y tipo-S de Chappell y White (1974).

Figura 12. Diagrama ternario ACF para el complejo Moromoro

Pearce (1983) ha discutido el uso de diagramas spider normalizados MORB (mid-ocean ridge basalt) de elementos traza para inferir modificaciones en la composición del magma basáltico parental, sea por metasomatismo relacionado con subducción y/o contaminación cortical. La alteración metasomática causa enriquecimiento en elementos LIL como Sr, K, Rb, Ba y Th, junto con P y tierras raras ligeras. La contaminación cortical produce enriquecimiento de una variedad de elementos, incluyendo Ta y Nb, con la disminución del enriquecimiento hacia los elementos más inmóviles, de modo que las tierras raras pesadas y el Y apenas se ven afectados. En la ausencia de modificaciones por los procesos anteriormente mencionados, los análisis mostrarían patrones planos en los diagramas spider con valores individuales cercanos a la unidad para un 'típico MORB toleítico', mayor que 1 para un 'MORB primitivo' y menor que 1 para un 'MORB evolucionado'. Aunque los datos presentes no incluyen el conjunto completo de elementos usado por Pearce (1983), se posee suficientes elementos para determinar la forma general de las curvas normalizadas.

Los diagramas spider de la unidad Quebrada Plata y las unidades Arenillas y Taqui se muestran en las Figuras 23 y 24 respectivamente. En ambos diagramas las curvas son similares y notablemente planas. En la Figura 23, los datos de la unidad Quebrada Plata indican poca o ninguna modificación sea por metasomatismo relacionado con subducción o por contaminación cortical, aunque los esparcidos y a menudo altos valores de Ba y Th no han sido explicados. Valores bajos de Rb, Nb y Ce indican concentraciones bajo el límite de detección de XRFS. La general dispersión entre-muestras, y el ligero enriquecimiento de Cr y Ni sugieren efectos de cristalización fraccionada. La Figura 24 señala evidencia de un grado de enriquecimiento de elementos LIL en las unidades Arenillas y posiblemente Taqui, sugiriendo una modificación menor por metasomatismo relacionado con subducción. Aun así, la situación general es de un basalto de dorsal oceánica formado en un ambiente oceánico y no en un ambiente de trasarco.

Figura 13. Diagrama spider ROCK/ORG normalizado (de Pearce et al., 1984) para el plutón Marcabelí, complejo Moromoro.

Figura 14. Diagrama spider ROCK/ORG normalizado (de Pearce et al., 1984) para la unidad La Bocana, complejo Moromoro.

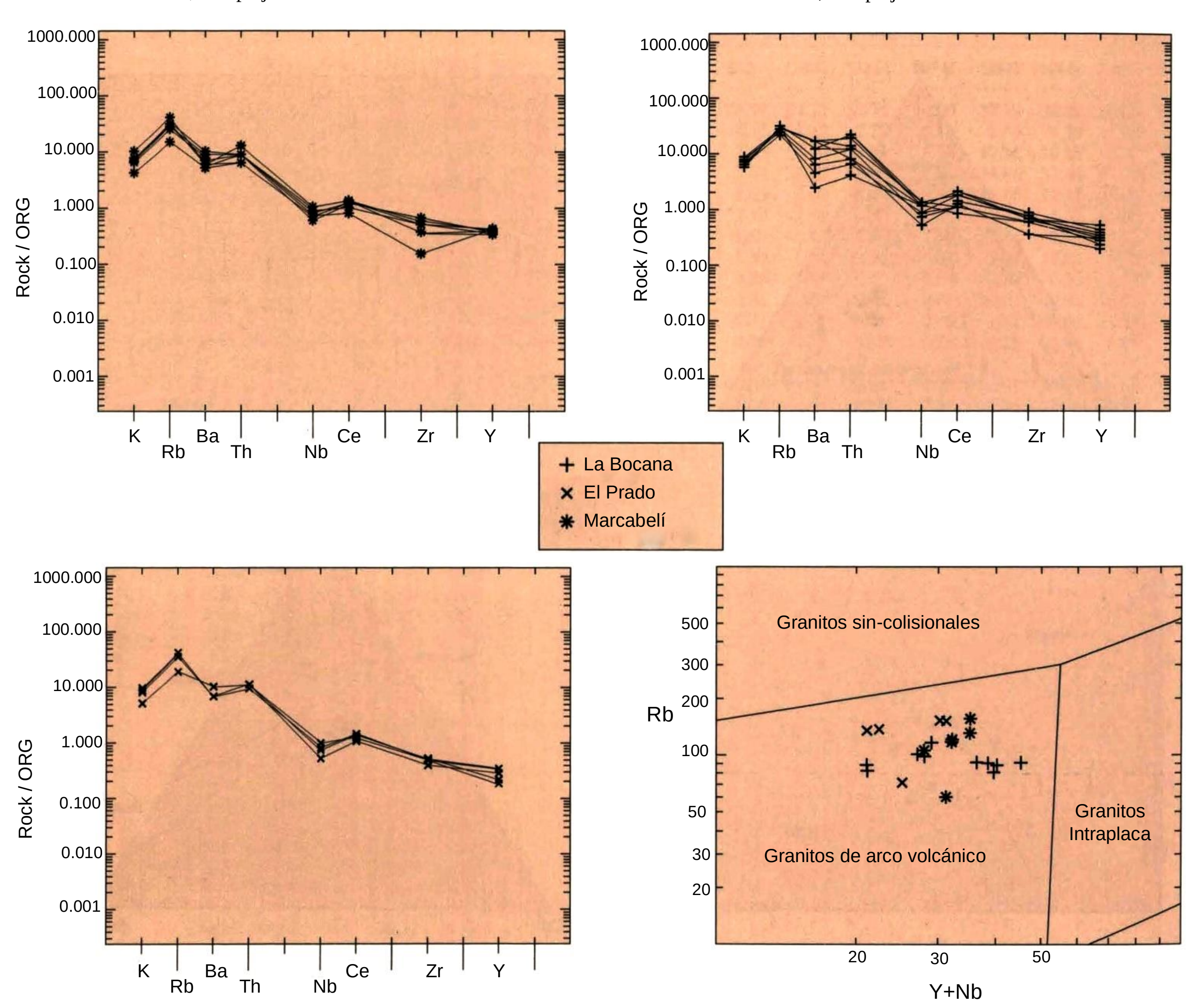


Figura 15. Diagrama spider ROCK/ORG normalizado (de Pearce et al., 1984) para el plutón El Prado, complejo Moromoro.

Figura 16. Diagrama Rb vs. Y+Nb (de Pearce et al., 1984) para el complejo Moromoro.

Pearce (1983) y Pearce y Cann (1973) describieron el uso de diagramas que involucran elementos inmóviles como Zr, Ti e Y para discriminar distintos tipos de basaltos oceánicos y distinguirlos entre basaltos de arco continental y arco oceánico. En términos del diagrama Zr/Y v. Zr (Figura 25), las muestras del complejo máfico Piedras se encuentran mayormente en el área de sobreposición entre los campos MORB y (dominantemente) basaltos de arco de islas oceánicas. En el diagrama Ti v. Zr (Figura 26) la mayoría de análisis caen en el área de sobreposición entre los campos de basaltos toleíticos de bajo-K y los basaltos de fondo-oceánico, pero también definen una tendencia de incremento de Ti y Zr indicando un carácter de fondo-oceánico. En la Figura 27 la mayor parte de muestras (excepto 2), caen en el campo de basalto de fondo oceánico. La dispersión de valores en las Figuras 25 y 26 reflejaría el fraccionamiento de fases empobrecidas en Zr y Ti como la del olivino.

Estos datos, en conjunto con el carácter intrusivo de las rocas y su asociación con granitos tipo-S en un posible ambiente de arco continental, son consistentes con el emplazamiento de magmas basálticos derivados del manto relativamente no-modificados.

División mélange Palenque (complejo ofiolítico Raspas y unidades de serpentinita innominadas)

Los análisis de roca-total obtenidos del complejo ofiolítico Raspas (unidad Río Panupali 7 análisis; unidad El Toro 7 análisis) y de varios cuerpos de serpentinita innominada, incluyendo aquel de la unidad Quebrada Plata (8 análisis), se enlistan en la Tabla 8. Las composiciones normativas de estas rocas, junto con varios índices geoquímicos están en la Tabla 9. La geoquímica de las unidades Arenillas y Taqui ha sido discutida en la anterior sección.

Tabla 6. Análisis de roca-total del complejo máfico Piedras

	UNIDAD QUEBRADA PLATA											UNIDAD ARENILLAS[1]			UNIDAD TAQUI[1]
Muestra	**148**	**149**	**150**	**203**	**206**	**217**	**271**	**275**	**276A**	**339**	**349**	**295**	**333**	**347**	**384**
SiO_2	48.01	47.37	49.35	48.32	48.98	49.35	49.76	49.20	49.47	49.78	48.55	49.08	49.84	49.55	48.27
TiO_2	1.72	1.66	1.39	0.95	1.39	1.17	1.35	0.90	0.99	0.92	0.48	1.81	0.95	1.07	1.96
Al_2O_3	13.77	15.78	16.19	16.51	14.41	14.90	14.65	15.68	15.61	15.76	15.92	14.19	16.49	16.01	16.54
Fe_2O_3T	11.33	10.76	8.80	8.62	10.80	9.92	10.69	9.18	9.64	8.92	6.51	12.23	8.70	9.49	11.24
MnO	0.19	0.17	0.45	0.14	0.23	0.18	0.26	0.15	0.16	0.15	0.10	0.19	0.14	0.16	0.17
MgO	9.15	8.44	8.06	9.38	8.89	8.54	8.58	8.65	8.53	8.41	11.51	8.23	7.84	7.12	6.64
CaO	10.68	10.90	11.43	11.74	10.48	11.83	10.82	12.38	11.78	11.73	12.88	11.07	12.72	14.15	11.26
Na_2O	2.73	2.88	2.82	2.31	2.82	2.59	2.60	2.54	2.58	3.03	1.71	2.74	2.16	2.08	3.00
K_2O	0.08	0.11	0.13	0.09	0.11	0.05	0.20	0.07	0.09	0.24	0.09	0.08	0.38	0.35	0.64
P_2O_5	0.21	0.17	0.20	0.10	0.13	0.13	0.12	0.09	0.10	0.11	0.05	0.17	0.11	0.14	0.28
LOI	2.21	1.95	1.88	2.12	2.32	1.81	1.63	1.71	1.61	1.50	2.51	0.98	0.75	0.62	0.56
Total	100.08	100.19	100.70	100.28	100.56	100.47	100.66	100.55	100.56	100.55	100.31	100.77	100.08	100.74	100.56
As	4	15	1	0	1	0	4	4	3	3	4	1	1	2	18
W	4	3	2	1	0	3	1	1	1	1	1	3	2	2	5
Bi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
V	250	231	195	154	237	204	235	182	185	172	104	294	175	203	202
Cr	325	250	290	323	264	290	271	340	330	348	764	253	422	307	202
Co	34	33	30	38	33	35	36	37	37	36	35	37	34	33	33
Ni	114	87	98	144	60	88	61	86	67	102	200	66	125	98	101
Cu	279	184	3	14	54	6	122	3	32	44	5	48	26	48	17
Zn	64	68	32	49	84	57	125	47	49	55	38	65	58	66	86
Rb	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2	5	5	18
Sr	95	124	150	127	105	96	104	96	138	136	96	89	105	165	440
Y	32	27	22	16	27	21	24	18	19	16	10	31	18	20	27
Zr	93	99	88	52	74	61	72	47	52	49	20	82	44	52	134
Nb	4	3	6	1	2	2	2	2	1	0	1	2	2	1	11
Mo	0	2	3	1	1	0	2	1	0	4	0	0	0	3	0
Ag	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	4	4	4	4	4
Sn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sb	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	31	34	60	24	34	21	35	25	44	41	14	43	95	109	201
La	6	6	7	4	4	4	1	3	0	2	1	3	4	3	9
Ce	13	11	9	0	3	2	12	8	6	3	10	9	9	10	26
Pb	1	0	0	0	0	0	3	0	1	0	2	3	3	0	4
Th	2	1	0	1	2	0	0	1	0	0	1	0	2	1	1
U	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0	1	1	0

[1] Como inclusiones tectónicas dentro de la división mélange Palenque

Unidad Río Panupali

Con fines comparativos, los datos analíticos obtenidos de los esquistos-verdes de la unidad Río Panupali han sido ubicados junto con aquellos del complejo máfico Piedras (Figuras 17-22 y 25-27). Con base en estos diagramas la unidad Río Panupali es en general similar al complejo máfico Piedras y se compone de andesitas basálticas/basaltos de fondo oceánico MORB (mid-ocean-ridge). Sin embargo, en todos los diagramas, los análisis de Río Panupali, con la notable excepción de la muestra 298, destacan como un subgrupo separado y, comparados con el complejo máfico Piedras están empobrecidos en MgO (<6.0 wt%), Cr y Ni, pero enriquecidos en Fe (total), K, Rb, Ba, Ce (pero no Nb), P, Zr, Ti (>1.5 wt%) e Y (Figuras 20-28). Es posible que estas características reflejen modificación por cristalización fraccionada, produciendo una tendencia toleítica enriquecida en hierro en el diagrama Ti v. Zr (Figura 26), incrementando el K_2O (Figura 17) e incrementando el Ti y Zr a valores por encima del rango normal de un basalto (Figura 26). En el diagrama normalizado MORB de elementos traza (Figura 28) esto también es sugerido por el fuerte empobrecimiento de Cr a valores bajo el límite de detección. Sin embargo, aún no es claro si el moderado enriquecimiento-LIL indicado en este diagrama se debe al fraccionamiento o indica enriquecimiento metasomático en la región de la fuente del magma.

Como se indicó anteriormente, la muestra de esquisto-verde 298 es anómala comparada con el resto de análisis de Río Panupali y, de acuerdo con los datos geoquímicos, parece pertenecer al complejo máfico Piedras (unidad Quebrada Plata) el cual también contiene algunas rocas-verdes (e.g. Tabla 6, 206). Tales rocas son especialmente comunes a lo largo de la zona de falla Zanjón-Naranjo y se piensa que representan a los productos de metamorfismo dinamotermal retrógrado. Considerando la cercana ubicación de la muestra 298 a esta zona de falla, es posible que, en el extremo este, existan inclusiones (tectónicas) de esquistos-verdes derivadas del complejo máfico Piedras dentro de lo que ahora se ha mapeado como la unidad Río Panupali. Se requieren datos geoquímicos y cartografía más detallada para probar esta posibilidad.

Tabla 7. Composición normativa e índices geoquímicos del complejo máfico Piedras (Kelsey, 1965)

	UNIDAD QUEBRADA PLATA											UNIDAD ARENILLAS[1]			UNIDAD TAQUI[1]
Muestra	**148**	**149**	**150**	**203**	**206**	**217**	**271**	**275**	**276A**	**339**	**349**	**295**	**333**	**347**	**384**
Ortoclasa	0.48	0.65	0.77	0.53	0.65	0.30	0.59	0.21	0.27	0.71	0.27	0.24	1.13	1.03	1.89
Albita	23.30	24.54	23.94	19.63	23.94	21.99	10.98	10.73	10.90	12.79	7.23	11.56	9.16	8.77	12.68
Anortita	25.29	30.01	31.23	34.55	26.42	28.98	13.83	15.56	15.35	14.32	17.73	13.06	17.13	16.60	14.87
Diópsido	21.69	18.92	19.66	18.75	20.19	23.55	10.20	11.97	10.94	11.62	11.18	11.23	11.45	14.58	9.91
Diópsido (CaMg)	14.87	12.88	14.04	13.77	13.74	16.20	6.87	8.40	7.54	8.17	9.07	7.23	7.97	9.57	6.18
Hedenbergita	6.82	6.05	5.62	4.98	6.45	7.35	3.34	3.57	3.39	3.45	2.11	4.00	3.48	5.01	3.73
Hiperstena	10.46	3.50	11.00	10.72	12.45	12.24	8.45	4.07	5.85	1.71	6.19	6.40	7.01	4.30	0.18
Enstatita	6.86	2.27	7.54	7.58	8.09	8.05	5.43	2.73	3.86	1.15	4.89	3.92	4.67	2.69	0.11
Ferrosilita	3.60	1.22	3.46	3.14	4.36	4.19	3.03	1.33	1.99	0.56	1.30	2.48	2.34	1.61	0.07
Olivino	10.21	14.43	6.42	9.70	8.66	6.37	2.32	4.44	3.57	5.93	4.74	3.51	1.55	1.99	6.54
Forsterita	6.47	9.06	4.26	6.66	5.43	4.05	1.44	2.89	2.27	3.86	3.66	2.07	1.00	1.20	3.71
Fayalita	3.75	5.38	2.16	3.04	3.22	2.32	0.88	1.55	1.29	2.06	1.08	1.44	0.55	0.79	2.83
Magnetita	2.48	2.36	1.92	1.88	2.36	2.16	1.16	1.00	1.05	0.97	0.71	1.33	0.95	1.03	1.22
Cromita	0.07	0.05	0.06	0.07	0.06	0.06	0.03	0.04	0.04	0.04	0.08	0.03	0.05	0.03	0.02
Ilmenita	3.29	3.17	2.65	1.81	2.65	2.23	1.28	0.85	0.94	0.87	0.46	1.71	0.90	1.01	1.86
Apatito	0.50	0.41	0.48	0.24	0.31	0.31	0.14	0.11	0.12	0.13	0.06	0.20	0.13	0.17	0.33
Índice de dif.	23.77	25.19	24.71	20.16	23.59	22.29	11.57	10.93	11.16	13.50	7.49	11.80	10.29	9.80	14.57
Índice de color	48.21	42.44	41.71	42.92	46.36	46.62	23.44	22.37	22.38	21.13	23.36	24.21	21.91	22.95	19.72
número mg	65.30	64.63	68.09	71.71	65.73	66.73	65.16	68.70	67.34	68.72	80.47	61.06	67.74	63.61	57.92

[1] Como inclusiones tectónicas dentro de la división mélange Palenque

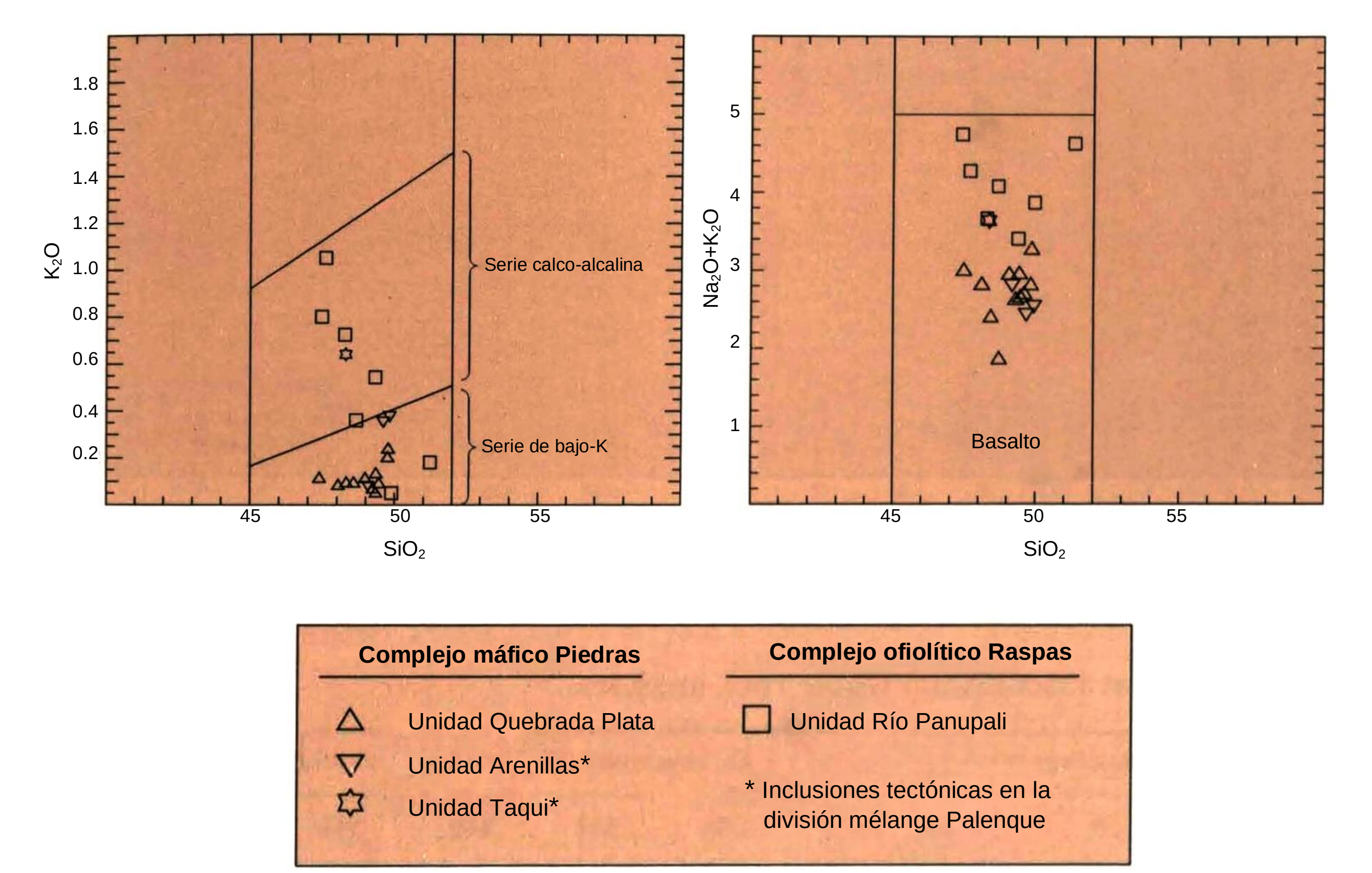
Unidad El Toro y serpentinitas innominadas

De acuerdo con Pearce et al. (1984a) las ofiolitas 'tipo-MORB' y de 'zona de supra-subducción' (i.e. trasarco) pueden ser distinguidas usando el Ti como elemento discriminante. La mayoría de los presentes análisis, y especialmente aquellos de la unidad El Toro, tienen contenidos muy bajos de Ti, a menudo bajo el límite de detección (<0.01%) (Tabla 8).

Se asumiría que tales muestras pueden ser clasificadas como ofiolitas de 'zona de supra-subducción'. Por tanto, como se indica en la Figura 29, la mayoría de serpentinitas, incluyendo aquellas de la unidad Quebrada Plata, se encuentran en la zona de ofiolitas de supra-subducción, pero dos muestras (RB35G y 284, Tabla 8) caen dentro del campo 'tipo-MORB'. Las implicaciones de este diagrama son inciertas.

Figura 17. Diagrama de clasificación K_2O vs. SiO_2 (de Ewart, 1982) para el complejo Piedras (unidades Quebrada Plata, Arenillas y Taqui) y el complejo ofiolítico Raspas (unidad Río Panupali).

Figura 18. Diagrama de clasificación Na_2O+K_2O vs. SiO_2 (de Le Bas et al., 1986) para el complejo Piedras (unidades Quebrada Plata, Arenillas y Taqui) y el complejo ofiolítico Raspas (unidad Río Panupali).



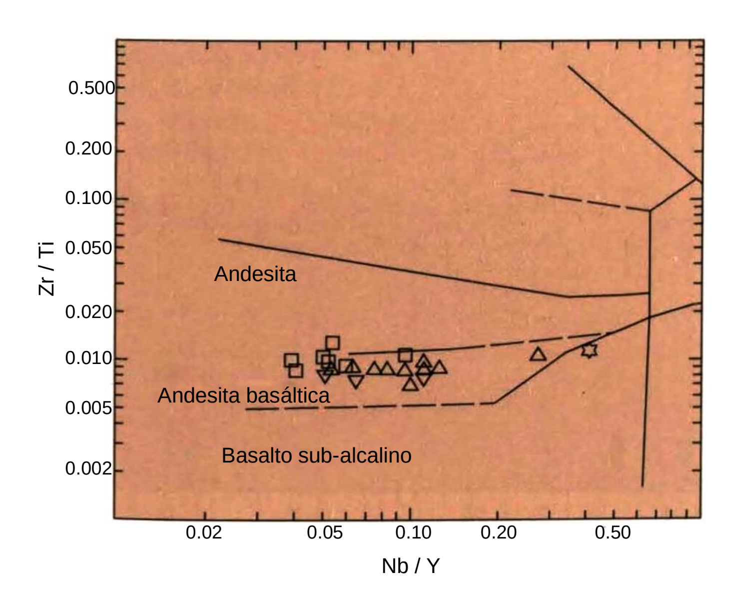


Figura 19. Diagrama de clasificación Zr/Ti vs. Nb/Y (de Winchester y Floyd, 1977) para el complejo Piedras (unidades Quebrada Plata, Arenillas y Taqui) y el complejo ofiolítico Raspas (unidad Río Panupali).

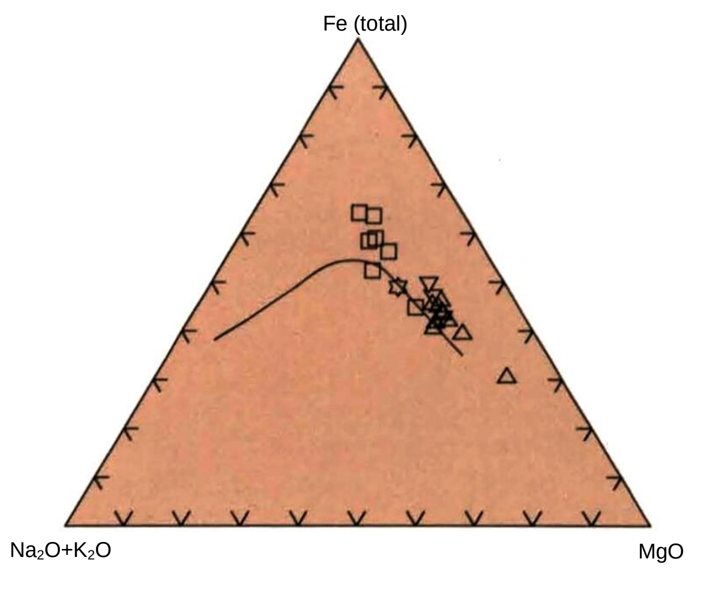
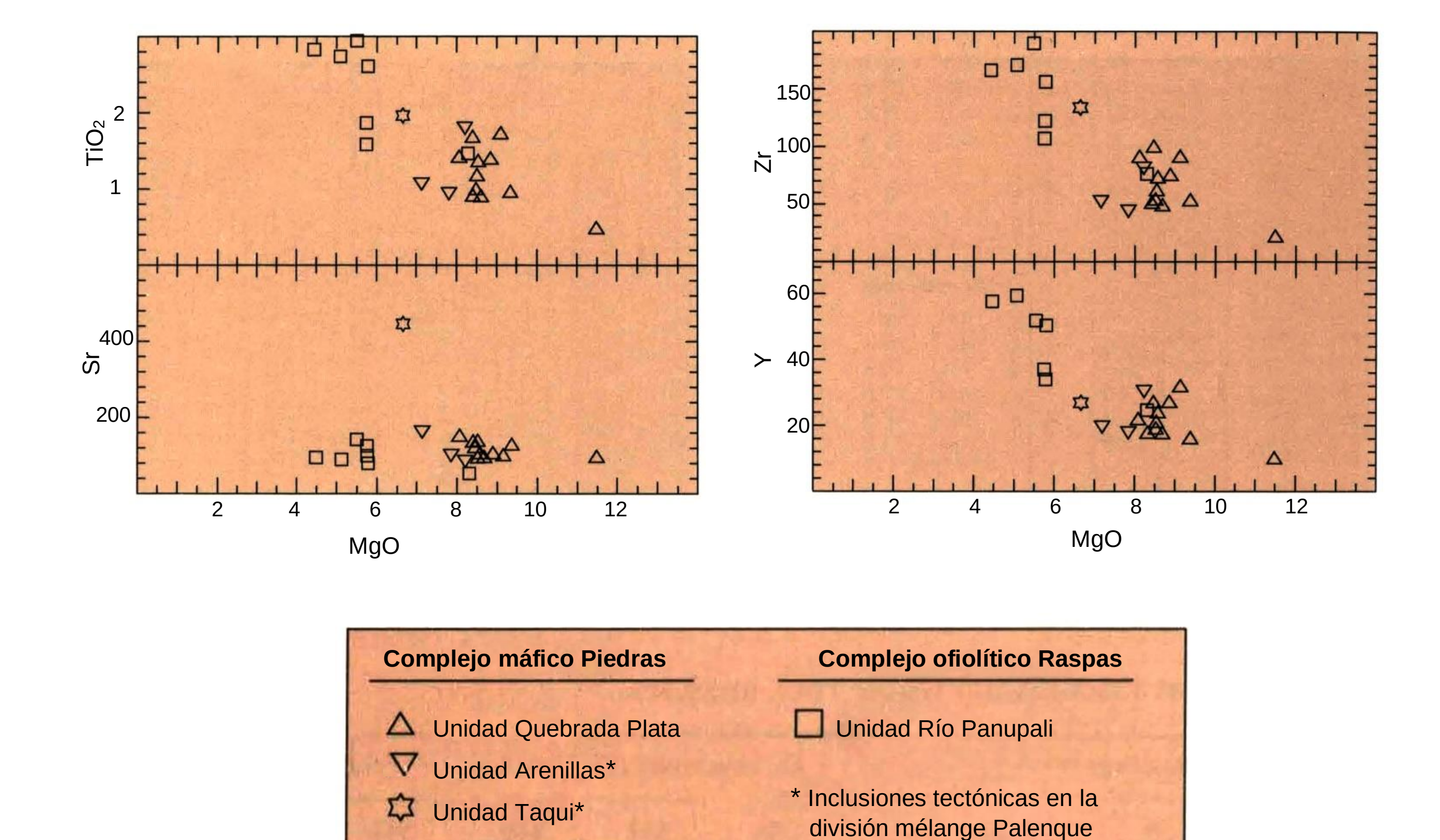


Figura 20. Diagrama ternario AFM para el complejo Piedras (unidades Quebrada Plata, Arenillas y Taqui) y el complejo ofiolítico Raspas (unidad Río Panupali).

Figura 21. Diagramas TiO_2 y Sr vs. MgO para el complejo Piedras (unidades Quebrada Plata, Arenillas y Taqui) y el complejo ofiolítico Raspas (unidad Río Panupali).

Figura 22. Diagramas Zr e Y vs. MgO para el complejo Piedras (unidades Quebrada Plata, Arenillas y Taqui) y el complejo ofiolítico Raspas (unidad Río Panupali).



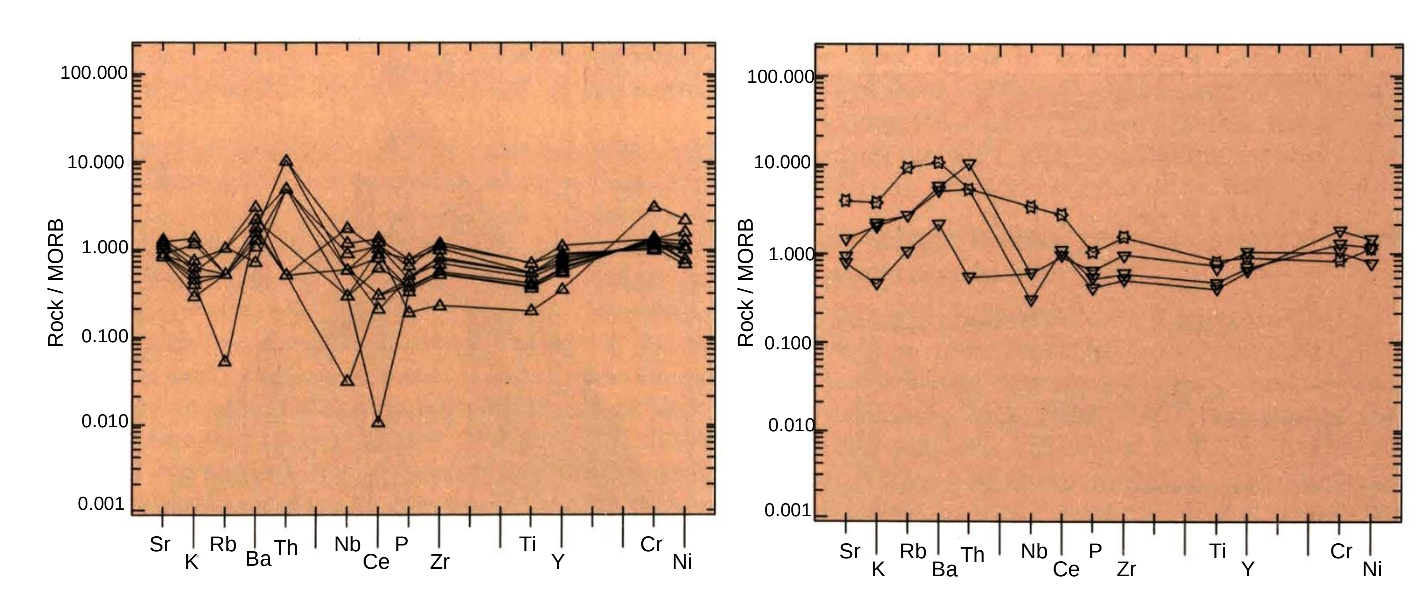


Figura 23. Diagrama spider ROCK/MORB normalizado (de Pearce, 1983) para la unidad Quebrada Plata, complejo Piedras.

Figura 24. Diagrama spider ROCK/MORB normalizado (de Pearce, 1983) para las unidades Arenillas y Taqui, complejo piedras.

Figura 25. Diagrama discriminante Zr/Y vs. Zr (de Pearce, 1983) para el complejo Piedras (unidades Quebrada Plata, Arenillas y Taqui) y el complejo ofiolítico Raspas (unidad Río Panupali).

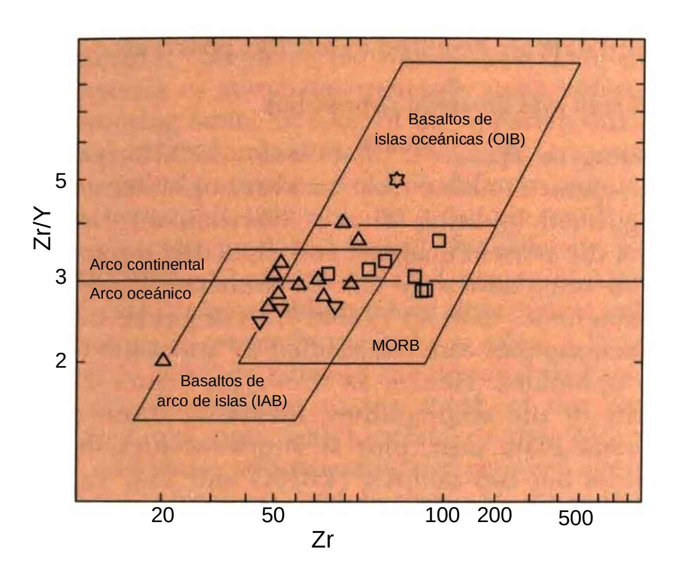
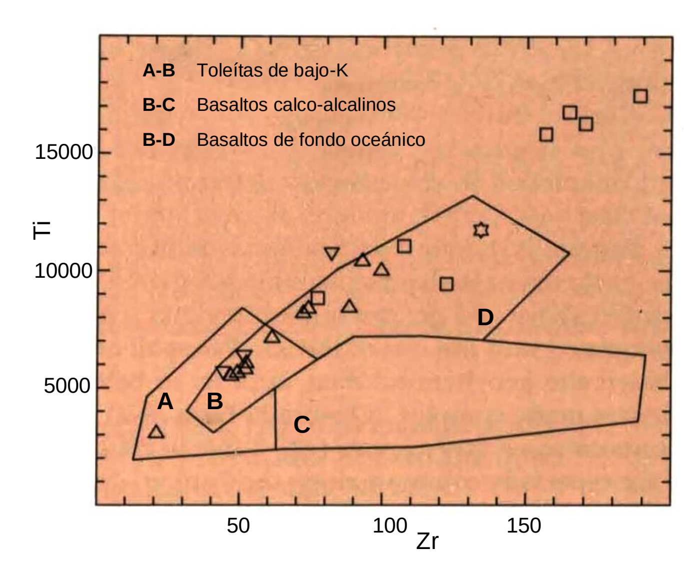


Figura 26. Diagrama discriminante Ti vs. Zr (de Pearce y Cann, 1973) para el complejo Piedras (unidades Quebrada Plata, Arenillas y Taqui) y el complejo ofiolítico Raspas (unidad Río Panupali).



Complejo máfico Piedras

- △ Unidad Quebrada Plata
- ▽ Unidad Arenillas*
- ✡ Unidad Taqui*

Complejo ofiolítico Raspas

- □ Unidad Río Panupali

* Inclusiones tectónicas en la división mélange Palenque

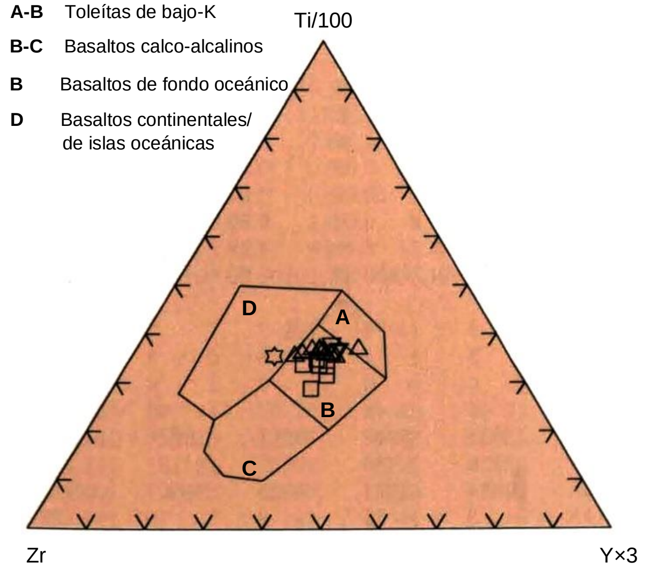


Figura 27. Diagrama discriminante Zr – Ti/100 – Y×3 (de Pearce y Cann, 1973) para el complejo Piedras (unidades Quebrada Plata, Arenillas y Taqui) y el complejo ofiolítico Raspas (unidad Río Panupali).

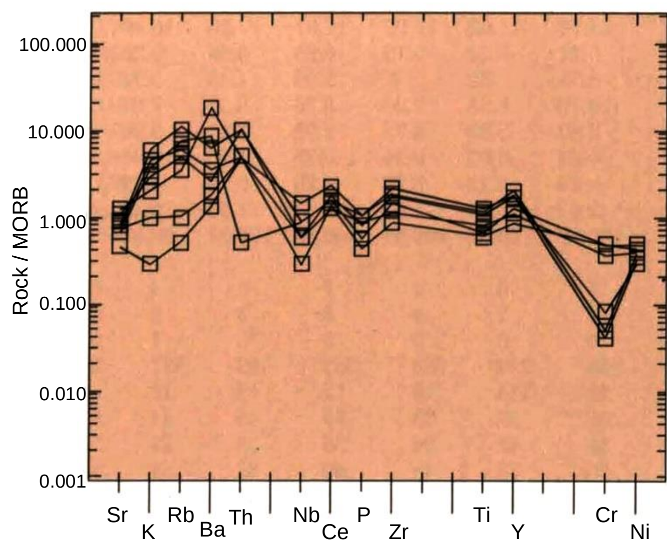


Figura 28. Diagrama spider ROCK/MORB normalizado (de Pearce, 1983) para la unidad Río Panupali, complejo ofiolítico Raspas.

Tabla 8. Análisis de roca-total para la división mélange Palenque (inclusiones)

	UNIDAD RÍO PANUPALI (COMPLEJO OFIOLÍTICO RASPAS)							UNIDAD EL TORO (COMPLEJO OFIOLÍTICO RASPAS)						
Muestra	**270**	**298**	**301B**	**357**	**358**	**359**	**360**	**335**	**341**	**342**	**343**	**346**	**363A***	**363B***
SiO_2	49.33	49.90	48.60	48.21	47.57	47.34	51.31	40.61	41.17	41.34	41.15	41.30	40.85	41.11
TiO_2	1.87	1.47	2.92	2.72	2.80	2.60	1.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al_2O_3	14.49	13.66	14.10	12.94	13.30	12.71	12.98	1.68	1.75	1.92	1.14	1.08	1.30	1.14
Fe_2O_3T	13.18	11.02	15.22	17.01	17.26	16.49	12.66	8.63	8.58	8.34	8.47	9.01	8.55	8.62
MnO	0.21	0.16	0.16	0.23	0.30	0.25	0.17	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.10	0.10
MgO	5.73	8.32	5.49	5.09	4.43	5.77	5.74	38.38	39.53	39.54	41.86	43.73	37.12	38.05
CaO	10.10	8.33	7.89	8.70	8.36	7.27	8.68	0.03	1.57	1.47	1.15	0.78	0.52	0.18
Na_2O	2.87	3.82	3.72	2.93	3.21	3.94	4.46	0.00	0.06	0.04	0.03	0.13	0.00	0.00
K_2O	0.54	0.05	0.36	0.73	1.06	0.81	0.18	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
P_2O_5	0.24	0.12	0.29	0.28	0.29	0.22	0.15	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01
LOI	2.42	3.24	1.84	2.04	1.73	2.46	1.30	11.36	7.10	7.84	6.42	4.68	11.66	11.49
Total	100.98	100.09	100.59	100.88	100.31	99.86	99.20	100.81	99.91	100.64	100.37	100.86	100.12	100.71
As	1	6	1	7	5	4	5	14	10	3	4	2	2	6
W	2	2	4	5	5	2	1	2	3	3	1	3	3	2
Bi	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
V	265	239	384	365	409	377	257	56	48	46	42	37	40	50
Cr	91	114	19	12	12	10	120	2940	3053	3034	3062	3311	3026	3051
Co	35	35	33	39	46	44	31	132	127	128	135	142	131	136
Ni	36	42	26	35	34	29	38	1531	1645	1654	1791	1883	1867	1785
Cu	36	83	48	40	35	58	39	37	13	3	11	3	16	26
Zn	105	61	119	143	165	132	87	49	37	37	36	44	39	47
Rb	10	1	7	15	20	12	2	0	0	1	0	0	1	0
Sr	125	53	140	89	96	77	102	1	5	5	3	2	3	2
Y	34	25	52	60	58	51	37	0	0	0	0	0	0	0
Zr	107	77	189	170	165	156	122	2	1	0	0	1	1	4
Nb	2	1	5	3	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0
Mo	0	0	1	2	1	0	3	0	0	0	1	0	1	0
Ag	3	4	4	4	5	5	4	0	1	1	2	2	0	0
Sn	0	0	0	4	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Sb	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Ba	52	27	375	167	123	71	36	11	16	17	13	18	23	16
La	3	2	7	7	5	8	3	0	0	0	0	0	0	0
Ce	12	13	22	15	14	16	17	19	10	0	0	4	17	5
Pb	0	0	0	1	2	2	3	0	2	0	0	5	1	0
Th	2	1	1	0	2	1	1	0	0	1	0	1	0	1
U	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* Lente de serpentinita dentro de la unidad Quebrada Plata, complejo máfico Piedras.

ESTRUCTURA

General

En completo contraste con el rumbo regional NNE-SSW de los Andes ecuatorianos, la base estructural del complejo metamórfico El Oro tiene rumbo E-W y está dominada por la presencia de numerosas, generalmente empinadas, subparalelas, fallas anastomosadas. A pesar de la aparente uniformidad de varios elementos estructurales, el complejo metamórfico El Oro comprende rocas de diferentes edades, orígenes e historias metamórficas, de aquello se deduce que las estructuras preservadas deben también reflejar tal diversidad. Se requiere más trabajo antes de establecer un detallado marco estructural/cinemático, sin embargo, existe suficiente información disponible para realizar una distinción general entre las dominantes estructuras del Triásico Tardío, presentes al sur de la zona de falla Zanjón-Naranjo, las cuales se relacionan con el 'evento Moromoro' y aquellas de incierta pero más joven edad (?Jurásico Tardío-Cretácico), ubicadas al norte y relacionadas con el 'evento Palenque'.

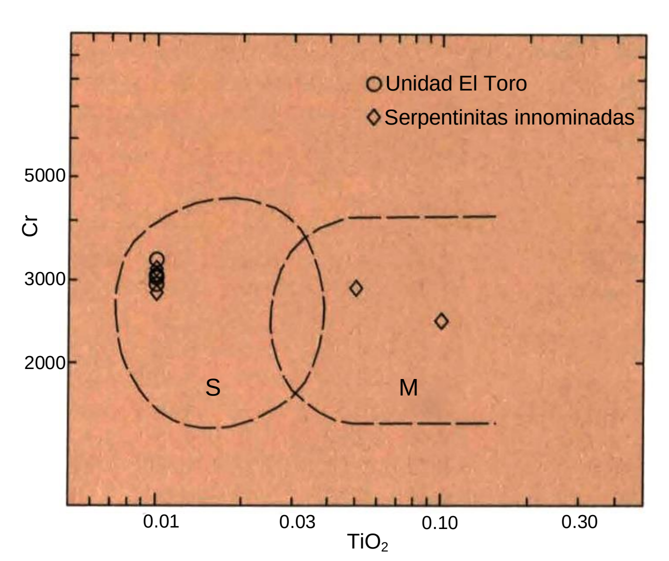


Figura 29. Diagrama discriminante Cr vs. TiO_2 (de Pearce et al., 1984a) para El Toro y otras serpentinitas de la división Palenque. S = ofiolitas de zona de supra-subducción; M = ofiolitas MORB

Tabla 8. (*continuación*) Análisis de roca-total para la división mélange Palenque (inclusiones).

	SERPENTINITAS INNOMINADAS							
Muestra	**RB35G**	**231**	**284**	**303**	**305**	**397**	**398**	**400**
SiO_2	40.69	38.21	42.06	40.16	40.19	40.73	41.33	41.69
TiO_2	0.10	0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
Al_2O_3	3.13	1.17	3.22	2.51	1.38	1.36	1.86	1.49
Fe_2O_3T	8.09	7.86	7.98	8.31	7.44	7.83	7.46	6.96
MnO	0.12	0.10	0.12	0.11	0.08	0.09	0.10	0.09
MgO	36.44	38.53	35.65	36.38	38.50	39.11	37.50	39.03
CaO	1.23	0.87	2.60	0.83	0.03	0.17	0.47	0.05
Na_2O	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K_2O	0.06	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
P_2O_5	0.02	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
LOI	10.80	13.85	8.02	11.85	11.58	11.63	11.30	11.53
Total	100.70	100.65	99.81	100.17	100.21	100.93	100.04	100.86
As	1	7	292	11	20	2	6	5
W	2	5	5	3	2	3	5	3
Bi	1	1	0	0	0	0	0	0
V	67	44	70	63	33	38	49	39
Cr	2461	3083	2898	3167	2823	3093	3103	3187
Co	111	122	102	118	132	125	124	118
Ni	1405	1685	1262	1629	1769	1791	1617	1537
Cu	21	5	55	44	6	0	5	3
Zn	38	31	52	51	46	37	41	31
Rb	2	0	0	1	0	1	2	2
Sr	2	2	10	6	1	2	14	4
Y	2	0	1	1	0	0	1	0
Zr	2	0	0	1	0	1	3	1
Nb	0	0	1	0	0	0	1	0
Mo	2	0	0	0	1	0	0	0
Ag	1	0	2	0	0	0	0	0
Sn	0	0	0	0	0	0	0	0
Sb	1	5	4	6	6	1	1	2
Ba	22	12	15	27	17	10	17	38
La	1	0	0	0	0	0	0	0
Ce	5	12	0	13	19	13	6	14
Pb	1	1	3	1	2	1	0	2
Th	1	1	1	0	0	1	2	0
U	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 9. Composición normativa e índices geoquímicos de la división mélange Palenque (inclusiones) (Kelsey, 1965)

	UNIDAD RÍO PANUPALI							UNIDAD EL TORO						
Muestra	**270**	**298**	**301B**	**357**	**358**	**359**	**360**	**335**	**341**	**342**	**343**	**346**	**363A***	**363B***
Corindón	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.39
Ortoclasa	1.59	0.15	1.06	2.15	3.15	2.41	0.54	0.00	0.03	0.03	0.00	0.03	0.03	0.03
Albita	12.09	16.22	15.75	12.38	13.64	16.81	19.12	0.04	0.25	0.17	0.13	0.55	0.04	0.04
Anortita	12.48	10.03	10.36	9.98	9.42	7.36	7.53	0.07	2.24	2.50	1.48	1.16	1.26	0.44
Diópsido	9.67	8.39	6.87	8.91	8.80	8.41	11.40	0.00	1.26	0.83	0.99	0.55	0.00	0.00
Diópsido (CaMg)	5.18	5.58	3.51	4.02	3.63	4.10	6.17	0.00	1.15	0.76	0.91	0.50	0.00	0.00
Hedenbergita	4.49	2.81	3.35	4.89	5.17	4.30	5.23	0.00	0.11	0.07	0.08	0.05	0.00	0.00
Hiperstena	8.77	6.02	7.23	9.69	5.10	0.56	3.83	16.00	10.11	10.79	8.93	6.57	16.39	16.70
Enstatita	4.40	3.81	3.45	4.04	1.93	0.26	1.94	14.36	9.11	9.75	8.10	5.95	14.68	14.98
Ferrosilita	4.37	2.20	3.78	5.65	3.16	0.31	1.89	1.64	1.00	1.04	0.83	0.62	1.71	1.71
Olivino	0.44	4.59	2.72	0.76	3.78	8.29	3.55	26.12	31.19	30.45	33.91	37.41	24.94	25.36
Forsterita	0.21	2.80	1.23	0.30	1.35	3.57	1.71	23.21	27.82	27.25	30.47	33.56	22.10	22.52
Fayalita	0.23	1.78	1.49	0.46	2.43	4.73	1.84	2.92	3.37	3.21	3.44	3.85	2.83	2.84
Magnetita	1.43	1.20	1.66	1.85	1.88	1.81	1.40	0.93	0.94	0.90	0.92	0.97	0.93	0.93
Cromita	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.31	0.33	0.32	0.33	0.35	0.33	0.33
Ilmenita	1.77	1.40	2.77	2.58	2.76	2.49	1.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Apatito	0.28	0.14	0.34	0.33	0.34	0.26	0.18	0.00	0.02	0.02	0.04	0.02	0.01	0.00
Índice de dif.	13.68	16.37	16.81	14.53	16.78	19.22	10.66	0.04	0.28	0.20	0.13	0.58	0.07	0.07
Índice de color	22.09	21.61	21.25	23.78	22.23	21.56	21.70	43.37	43.82	43.31	45.08	45.85	42.58	43.31
número mg	50.32	63.76	45.66	41.08	37.42	44.91	51.37	91.20	91.48	91.70	92.01	91.88	91.00	91.14

* Lente de serpentinita dentro de la unidad Quebrada Plata, complejo máfico Piedras.

	SERPENTINITAS INNOMINADAS							
Muestra	**RB35G**	**231**	**284**	**303**	**305**	**397**	**398**	**400**
Corindón	0.84	0.00	0.00	0.49	0.65	0.51	0.49	0.69
Ortoclasa	0.35	0.06	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Albita	0.17	0.00	0.17	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Anortita	5.95	3.15	4.29	2.06	0.07	0.42	1.17	0.09
Diópsido	0.00	0.70	1.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Diópsido (CaMg)	0.00	0.64	1.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hedenbergita	0.00	0.06	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hiperstena	28.33	18.92	13.59	15.06	17.42	15.06	17.35	17.67
Enstatita	25.50	17.16	12.22	13.51	15.88	13.69	15.78	16.22
Ferrosilita	2.84	1.76	1.37	1.55	1.54	1.38	1.58	1.45
Olivino	51.08	60.91	24.93	25.09	24.84	26.95	24.07	24.62
Forsterita	45.50	54.72	22.18	22.26	22.44	24.26	21.68	22.42
Fayalita	5.58	6.19	2.75	2.82	2.40	2.69	2.39	2.20
Magnetita	1.75	1.70	0.87	0.90	0.81	0.84	0.81	0.75
Cromita	0.53	0.66	0.31	0.34	0.30	0.33	0.33	0.34
Ilmenita	0.19	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
Apatito	0.05	0.09	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Índice de dif.	0.52	0.06	0.23	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Índice de color	81.88	82.91	41.34	41.40	43.37	43.19	42.58	43.39
número mg	91.30	91.95	91.23	91.07	92.34	92.09	92.13	92.89

Estructura al sur de la zona de falla Zanjón-Naranjo, el 'evento Moromoro'

Los buzamientos en la no-metamorfizada a débilmente metamorfizada unidad el Tigre son variables, pero normalmente moderados a empinados y generalmente hacia el norte. Numerosas fallas paralelas a la estratificación se encuentran por toda la unidad y, donde son observadas, las lineaciones/estrías (*slickensides*) asociadas son horizontales o tienen inmersiones suaves con dirección E-W (Lámina 20). Muchas de estas fallas están marcadas por irregulares, concordantes/discordantes, lentes y vetas de cuarzo. En áreas de alta deformación, se pueden desarrollar zonas de clivaje paralelo a la estratificación, pero éstas generalmente están restringidas a estrechos-incompetentes horizontes de shale/lutita, donde a veces se puede establecer un sentido dextral horizontal/subhorizontal (transpresivo) de cizalla. En otras partes, las estructuras tienden a ser de naturaleza más frágil, especialmente en los masivos, cuarzosos horizontes donde comúnmente se desarrollan elementos tensionales rellenos de cuarzo (algunos de los cuales son demostrablemente dextrales) que por lo general son oblicuos a la dirección principal estructural E-W de la unidad. En algunas áreas, por ejemplo, al oeste de Marcabelí (**Marcabelí 617/9581**), la unidad El Tigre está volcada, pero no se ha podido confirmar si toda la unidad está invertida (cf. Feininger, 1978), se sugiere que tal fenómeno estaría asociado con estructuras locales de corrimiento/en flor, las cuales a menudo se desarrollan cerca de la superficie en asociación con zonas regionales con desplazamiento de rumbo (strike-slip) (Sylvester, 1988).

Estructuralmente la unidad La Victoria es similar a la unidad El Tigre, pero de acuerdo con la evidencia presente en la asociación mineral metamórfica, esta unidad fue deformada a temperaturas más altas. El contacto entre las dos unidades corresponde a una compleja zona tectónica, empinada y con rumbo E-W, a través de la cual existe un incremento en el grado metamórfico y en la intensidad del, generalmente subhorizontal, cizallamiento dúctil. Por toda la unidad La Victoria el clivaje y la estratificación, donde aún sean reconocibles, son normalmente paralelos y, con notables excepciones, usualmente son empinados y hacia el norte.

Las lineaciones, que típicamente tienen inmersiones suaves ($<30°$) hacia el este u oeste, están preservadas en varias superficies (Láminas 20, 21 y 22). Dentro de la unidad La Victoria y en partes del complejo granitoide Moromoro, especialmente en el sur, son comunes los indicadores cinemáticos macroscópicos y microscópicos como las inclusiones aladas, vetas de cuarzo con estructura boudinage, porfiroblastos/megacristales rotados, pliegues-Z apretados a isoclinales y/o kink bands (a menudo con ejes de pliegue empinados a verticales), fábricas de milonita S-C y peces de mica (para una revisión de indicadores cinemáticos ver Hanmer y Passchier, 1991): todos entregan un consistente sentido dextral de movimiento (Láminas 23-26). En el sentido de Lister y Snoke (1984), la mayor parte de la unidad La Victoria (y partes de la unidad El Tigre) está compuesta por milonitas S-C Tipo-II.



Lámina 20. Estrías horizontales (dextrales) en una superficie vertical, unidad El Tigre, división Tahuín, nueva vía Arenillas-Alamor.

La alta densidad de fallas y su patrón anastomosado, la evidencia de lineaciones minerales e indicadores del sentido de cizalla, todos respaldan con firmeza la interpretación de que, durante el 'evento Moromoro', estas rocas fueron deformadas y metamorfizadas en una zona regional de transpresión dextral. El sentido dominante de movimiento fue aproximadamente horizontal y paralelo al fallamiento (i.e. con desplazamiento de rumbo en el sentido de Sylvester, 1988). En el oeste, al norte de La Victoria y expuestos a lo largo de la vía principal a Arenillas, han sido mapeados corrimientos de esquistos miloníticos, los cuales son altamente oblicuos al rumbo estructural normal E-W de la unidad La Victoria. Estas rocas miloníticas no están bien expuestas, pero tienen un clivaje paralelo a la estratificación, variable, a menudo suave, buzando al oeste, también tienen lineaciones minerales con inmersiones hacia el oeste. Vetas de cuarzo sigmoidalmente plegadas-Z y con estructura boudinage sugieren transporte tectónico de oeste a este. Estas estructuras corresponderían a dúplex contraccionales con desplazamiento de rumbo (strike-slip), como aquellas comúnmente formadas en las curvaturas confinantes/compresionales (Woodcock, 1986; Crowell, 1979).



Lámina 21. Tectonitas miloníticas L-S, unidad La Victoria, división Tahuín, Río Moromoro.



Lámina 22. Tectonitas miloníticas L-S, unidad La Victoria, división Tahuín, al norte de Las Lajas.

En el sur, los plutones con rumbo E-W Marcabelí y El Prado son generalmente no-foliados. Sin embargo, la parte septentrional del plutón Marcabelí está cortada por una serie de zonas de cizalla dextrales, generalmente empinadas (Lámina 14), y dentro de la unidad La Victoria, particularmente en el oeste, existe cierta cantidad de lentes fuertemente foliados, aislados, limitados por fallas pertenecientes al complejo granitoide Moromoro. El principal afloramiento del complejo granitoide Moromoro está variablemente deformado. En algunas áreas, se preservan gruesas, pero claramente penetrativas, foliaciones y/o fábricas dúctiles, discretas de milonita S-C (dextral) (Lámina 26), pero a menudo estos granitoides tienen foliaciones gnéisicas o fábricas lineales irregulares o débilmente desarrolladas (nebulíticas), debido a la alineación de biotita/biotita schlieren y/o material xenolítico aplanado y alargado (Láminas 4 y 5).

En otras partes, por ejemplo, en el área de La Florida en el oeste, el plutón La Florida no está foliado y aparentemente tampoco deformado (Láminas 10 y 11). En conjunto estas observaciones sugieren que la actividad magmática asociada con el 'evento Moromoro' ha tenido una relativa larga duración o ha sido de naturaleza episódica, puesto que parece incluir una variedad de plutones sin- a tardío- y posiblemente post-tectónicos.

Los buzamientos estructurales en la elongada, con rumbo E-W unidad Quebrada Plata son variables, pero generalmente empinados. El contacto meridional de esta unidad con el complejo granitoide Moromoro posiblemente fue intrusivo, pero ahora es fallado. Debido a que las anfibolitas a lo largo de este contacto no están brechadas, y al parecer no han sido significativamente retrogradadas, es probable que se hayan formado cerca de las condiciones máximas de metamorfismo durante el 'evento Moromoro'.



Lámina 23. Vetas de cuarzo con estructura boudinage indicando movimiento dextral, porción de bajo-grado de la unidad La Victoria, división Tahuín, Río Moromoro.



Lámina 24. Inclusión alada dextral, porción de alto-grado de la unidad La Victoria, división Tahuín, Río Moromoro.

Zona de falla Zanjón-Naranjo

A lo largo de la zona de falla Zanjón-Naranjo el margen septentrional de la unidad anfibolita Quebrada Plata ha sido considerablemente retrogradado (diaftorizado) a esquisto-verde. En varias áreas (e.g. a lo largo del Río Naranjo, al oeste de Zaracay) se ha generado una distintiva tectonita bandeada que tiene una lineación mineral de anfíbol (actinolita) fuertemente desarrollada, empinada a vertical (Lámina 17). Grupos conjugados, tardíos, semidúctiles de kink bands (Z) indican hundimiento hacia el norte. Estas tectonitas sugieren que el movimiento a lo largo de este segmento de la falla quizá fue dominantemente de alta temperatura y naturaleza dúctil. Sin embargo, en el extremo oeste, cerca de la frontera en disputa con Perú, se ha observado brechas tectónicas. Regionalmente, esta zona de falla define el límite tectónico meridional de la división mélange Palenque y del complejo ofiolítico Raspas, por tanto, representa una importante estructura dentro del complejo metamórfico El Oro. Aunque el sentido general y tiempo de los mayores movimientos es incierto, estos son posteriores a aquellos del ‘evento Moromoro’ del Triásico Tardío y se asume que están relacionados con aquellos del ‘evento Palenque’.

Estructura al norte de la zona de falla Zanjón-Naranjo, el ‘evento Palenque’

Al norte de la zona de falla Zanjón-Naranjo se encuentra la división mélange Palenque. La edad de formación de la mélange, sus estructuras y asociado metamorfismo, no están bien definidos, pero ocurrió durante lo que aquí se denomina como ‘evento Palenque’. Los sedimentos de la matriz de la división Palenque son generalmente incompetentes, de grano fino y han sido deformados plásticamente, además, su estructura está dominada por la presencia de fallas con rumbo E-W, paralelas a la estratificación, empinadas a verticales, las cuales probablemente tienen una compleja historia de movimiento. Las relaciones de estratificación/clivaje también son paralelas y aunque variables, tanto en dirección (i.e. al norte o al sur) como en cantidad, éstas son generalmente empinadas. Las lineaciones e indicadores cinemáticos macroscópicos son relativamente raros a nivel de afloramiento, pero, donde son observados, sugieren un sentido dextral de cizalla con inmersiones bastante suaves.

En el sur y este, se encuentran milonitas cuarzosas y filonitas negras (± grafito), fuertemente deformadas, con buzamiento empinado, a veces silicificadas, como un sándwich entre la zona de falla Zanjón-Naranjo y el complejo ofiolítico Raspas. En el oeste, los buzamientos son más variables, pero generalmente con dirección al sur a lo largo de la falla (de corrimiento) represa Tahuín. En otras partes, los contactos entre los sedimentos de la matriz y las varias inclusiones tectónicas dentro de la división mélange Palenque a menudo son empinados, y en algunos casos, puede demostrarse una cizalla dextral subhorizontal.



Lámina 25. Veta pegmatítica con estructura boudinage y pequeños pliegues-Z (centro-derecha) indicando movimiento dextral, porción de alto-grado de la unidad La Victoria, división Tahuín, Quebrada Primavera.



Lámina 26. Milonita S-C (Tipo-I) dextral, unidad La Bocana, complejo Moromoro, Río Moromoro

En las unidades Quera Chico, Limón Playa, Arenillas y Taqui se preservan (?)antiguas estructuras dúctiles. Sin embargo, especialmente en las unidades de anfibolita, están presentes zonas de cizalla semi-frágiles, con rumbo E-W, a menudo empinadas y, fracturas frágiles, irregulares y más jóvenes. Tentativamente se ha sugerido que estas estructuras se formaron durante, o inmediatamente después de, la incorporación de estas rocas competentes más antiguas dentro de la división mélange Palenque. Dataciones K-Ar y U/Pb disponibles indican que un evento termal afectó a las unidades Arenillas y Limón Playa en ca. 74-80 Ma y algunas de estas estructuras estarían relacionadas con este evento (ver también Aspden et al., 1992).

Están disponibles pocas observaciones estructurales detalladas del complejo ofiolítico Raspas. Mora (1988) confirmó la común ocurrencia de texturas miloníticas en las unidades Río Panupali y La Chilca y, en el oeste una serie de fallas de corrimiento imbricadas con buzamiento al SW, las cuales tienen lineaciones minerales con inmersiones hacia el sur, han sido mapeadas dentro de la unidad Río Panupali. A pesar de las a menudo empinadas estructuras internas y de contacto, el emplazamiento del complejo ofiolítico Raspas desde su profundidad original de formación (aproximadamente 9kb, Duque, 1992), hasta su presente nivel estructural, debió involucrar muchos kilómetros de movimiento vertical (para los modelos de emplazamiento de esquistos azules ver Platt, 1987 y 1986).

Límites estructurales del complejo metamórfico El Oro

El límite septentrional del principal afloramiento del complejo metamórfico El Oro coincide con la falla Jubones, la cual anteriormente era considerada como la separación entre las antiguas rocas metamórficas al sur y los 'volcánicos marinos de arco insular del Cretácico Superior… de la Cordillera Occidental…al norte' (Baldock, 1982). Sin embargo, puesto que al norte de la falla Jubones se han reportado inliers de rocas metamórficas, similares a aquellas encontradas dentro del complejo metamórfico El Oro, no es tan posible que esta estructura sea de importancia regional. No obstante, la falla tiene importancia local y probablemente una historia compleja, la cual incluyó un componente normal de movimiento con un significativo hundimiento hacia el norte. El hecho de que la falla Jubones sea paralela a otras fallas con rumbo E-W dentro de la división mélange Palenque sugiere un origen común, pero la presencia de filitas negras fuertemente contorsionadas, numerosas vetas de cuarzo y áreas de silicificación a lo largo de su longitud, la relacionarían con movimientos más jóvenes (posiblemente del Cretácico Tardío). Los buzamientos estructurales son variables, pero generalmente empinados a verticales. Se ha observado lineaciones minerales con inmersiones suaves con dirección E-W y empinadas con dirección N.

En el este, cerca de Uzhcurrumi, la falla Jubones es cortada por granodioritas no-deformadas, de probable edad paleógena (A. Egüez, Escuela Politécnica Nacional, comunicación personal). Rocas similares intruyen el complejo metamórfico El Oro a lo largo de la mayor parte de su margen oriental y, a lo largo de la zona de falla Piñas-Portovelo las litologías del basamento han sido, en algunos lugares (e.g. al sur de Piñas), cataclásticamente deformadas y brechadas por un fallamiento normal más joven (reactivado) con hundimiento hacia el norte.

El límite suroriental del complejo metamórfico El Oro está definido por una serie de fallas 'cola de caballo' con rumbo NNE-SSW de la zona de falla Guayabal. Esta zona es indudablemente compleja y quizá ha sido afectada por varios periodos de movimiento que involucraron no sólo a las litologías metamórficas del basamento, sino también a aquellas de la secuencia de la cuenca cretácica Alamor y a formaciones e intrusiones más jóvenes (del Terciario) (Kennerley y Almeida, 1975). Regionalmente, la falla principal Guayabal define el margen occidental del 'graben' neógeno Catamayo (E. Salazar, RTZ plc, Quito, comunicación personal), una estructura con rumbo N-S que separa el principal afloramiento del complejo metamórfico El Oro de litologías metamórficas similares de la Cordillera Real al este (Aspden y Litherland, 1992; Kennerley y Almeida, 1975). Las rocas metamórficas que han sido afectadas por esta zona de falla han sido cataclásticamente deformadas y las litologías ricas en cuarzo más competentes por lo común están fuertemente fracturadas y/o brechadas. Se piensa que el sentido general de movimiento a lo largo de la zona es dextral, pero también incluye un componente de corrimiento hacia el este.

En el sur el complejo metamórfico El Oro es suprayacido en inconformidad por los sedimentos cretácicos de la cuenca Alamor. El desarrollo de la cuenca fue probablemente controlado por fallas extensionales, los repetidos movimientos a lo largo de estas produjeron no sólo el brechamiento del basamento metamórfico, sino también el de los sedimentos de cuenca más jóvenes.

Estructuras más jóvenes asociadas

Varios lineamientos jóvenes, del (?)Neógeno, transversales, con rumbo aproximadamente NNE-SSW han sido mapeados usando fotografías aéreas e imágenes SAR. En el campo, donde se ha confirmado la presencia de estos lineamientos, estos están asociados con zonas difusas de fractura frágil. En el distrito minero de Zaruma y en el área de Cerro Pelado las fallas con un rumbo similar representan un importante control para la mineralización (Van Thournout et al., 1991; A. Egüez, Escuela Politécnica Nacional, comunicación personal).

INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA

Contexto regional en los Andes del Norte

Las rocas metamórficas de la provincia de El Oro son interpretadas como parte de un complejo de prisma de acreción que probablemente se extiende a lo largo de los Andes del Norte; pero la mayor parte está cubierta por estratos más jóvenes, especialmente los extensos depósitos volcánicos terciarios/cuaternarios, los cuales se desarrollan ampliamente en Ecuador y Colombia. En Ecuador, se ha sugerido que el límite oriental de este complejo coincide con la zona de falla Baños-Las Aradas, una estructura regional que define el límite occidental de la Cordillera Real y que continúa como la falla Romeral en Colombia (Aspden et al., 1992a). Para los propósitos de este reporte, se considera que el límite occidental del complejo acrecional es la zona de falla Calacalí-Pallatanga (Aspden et al., 1987). Sin embargo, al oeste de esta línea, la Cordillera Occidental y la Planicie Costera están compuestas por material alóctono (Van Thournout et al., 1992; Megard, 1989; Aspden et al., 1987a; McCourt et al., 1984), y, por tanto, más corteza acrecionada se extiende hasta el eje actual de la fosa.

En Ecuador, el complejo acrecional entre las fallas Baños-Las Aradas y Calacalí-Pallatanga ha sido previamente (en parte) referido como el terreno Chaucha-Arenillas (Litherland y Aspden, 1992) (ver también Feininger, 1987). Es ahora evidente que el 'terreno Chaucha-Arenillas' contiene una variedad de rocas de diferentes edades y orígenes y, de acuerdo con nuestro punto de vista, el modelo de prisma de acreción proporciona un marco conceptual más realista, en el cual se puede discutir no sólo las rocas metamórficas de la provincia de El Oro, sino también la geología de todo el cinturón. Aunque tal discusión está fuera del alcance de este reporte, la Figura 30 muestra los principales afloramientos del 'basamento metamórfico' del Ecuador ubicados entre las zonas de falla Baños-Las Aradas y Calacalí-Pallatanga; ocurrencias que ahora se incluirían dentro del complejo acrecional. Un terreno más al oeste, no discutido aquí, también forma parte del gran prisma de acreción.

Así mismo, más al norte en Colombia, la secuencia ofiolítica del terreno Amaime y los asociados ensamblajes de alta-presión de Barragán y Jambaló (Aspden y McCourt, 1986; Feininger, 1982) también formarían parte del complejo acrecional, igualmente las rocas 'metamórficas' del terreno Amotape-Tahuín en el noroeste de Perú (Megard, 1989).

Origen del complejo metamórfico El Oro

Las rocas del complejo metamórfico El Oro al norte y sur de la falla Zanjón-Naranjo son consideradas como parte de la misma masa acrecional y esencialmente han tenido el mismo origen. Sin embargo, gran parte de las rocas que se encuentran como inclusiones dentro de la división mélange Palenque, al norte de esta falla, han sido tectónicamente derivadas de aquellas del sur (o sus análogos en otras partes). El bloque meridional es por supuesto una unidad más coherente que la mélange. Se puede establecer la siguiente historia geológica parcial 'pre-complejo acrecional'.

Los sedimentos semi-pelíticos Tahuín, de probable edad paleozoica inferior, dentro del bloque meridional, fueron metamorfizados durante el Triásico Tardío. Este metamorfismo, un evento dominado por la temperatura, fue acompañado por cizallamiento dextral, formación de migmatitas, el emplazamiento de los granitos sin- a tardío-tectónicos esencialmente de tipo-S (complejo Moromoro) y por la intrusión de magma máfico (complejo Piedras).

Varios tipos de roca dentro del complejo metamórfico El Oro pueden ser correlacionados con litologías de la Cordillera Real, a excepción del material ofiolítico de alta-presión/baja-temperatura de la mélange. Inmediatamente al este en la Cordillera Real, la división Loja (Aspden y Litherland, 1992), al igual que las rocas de El Oro, está compuesta por una secuencia semi-pelítica variablemente metamorfizada considerada como paleozoica. Las migmatitas y granitos tipo-S del Triásico Tardío están presentes en la división Loja (Noble et al., 1994) y se ha sugerido que también se formaron durante un periodo de cizallamiento dextral (Aspden et al., 1992 y 1992a).

Se ha llegado a la conclusión de que el complejo Moromoro y la división Tahuín de la provincia de El Oro son equivalentes a la división Loja de la Cordillera Real. En ambas áreas cuerpos máficos de anfibolita están espacialmente asociados con los granitoides; las observaciones de campo en la Cordillera Real y los resultados U/Pb de circón en el complejo El Oro confirman que estos tipos de rocas tienen una edad similar. Por tanto, es posible sugerir que el exceso de calor contenido en los magmas máficos habría contribuido a la anatexis cortical y por ende al desarrollo del cinturón regional de migmatita/granito tipo-S (Castro et al., 1991). Sin embargo, Reavy (1989), quien reporta varias características del Cinturón Hercínico Portugués que son idénticas a las vistas en el complejo metamórfico de El Oro, concluye que los altos gradientes termales encontrados en estrechas zonas 'plutonometamórficas' (probablemente como resultado de la combinación de varios factores) están intrínsicamente relacionados con la presencia de zonas de alta deformación en la corteza (ver también Strong y Hanmer, 1981, y Pitcher, 1979).

Geoquímicamente el complejo Piedras es de carácter oceánico y representaría magmas de supra-subducción (gabroicos) emplazados en una zona de cizalla regional activa. El autometamorfismo por fluidos acuosos penetrando a lo largo de este sistema de cizalla explicaría la mineralogía de anfibolita/esquisto-verde (Honnorez et al., 1994).

En resumen, los datos estructurales y petrológicos del complejo metamórfico El Oro indican que el emplazamiento del granitoide (predominantemente de carácter tipo-S), la formación de migmatitas y la intrusión de un cinturón lineal de magma gabroico estuvieron asociados con cizallamiento regional, bajo condiciones metamórficas de alta-temperatura/baja-presión (ver también D'Lemos et al., 1992; Hutton y Reavy, 1992; Krohe, 1991). Con base en la evidencia geoquímica, el complejo Moromoro (y aquellos granitoides de la división Loja en la Cordillera Real) pueden ser clasificados como granitos de arco volcánico, tales ambientes tectónicos son considerados como escenarios favorables para el desarrollo de metamorfismo de alta-temperatura/baja-presión del tipo preservado en la división Tahuín (Yardley, 1989; Miyashiro, 1972; pero ver también Strong y Hanmer, 1981; Wickham, 1987).

Edad del complejo acrecional y rotación del complejo metamórfico El Oro

La edad de formación del complejo acrecional, del cual forma parte el complejo metamórfico El Oro, está pobremente definida. Sin embargo, hace ca. 140 Ma, a continuación de la cesación de la actividad volcano-plutónica del Jurásico (ca. 190-145 Ma) que afectó a la totalidad de los Andes del Norte (Aspden et al., 1992, 1987a), hubo un importante cambio en el marco geodinámico del Ecuador. Este cambio produjo deformación, levantamiento y erosión al este de la zona de falla Baños-Las Aradas (Figura 30). Se interpreta que edades minerales K-Ar reseteadas y una isócrona reseteada Rb/Sr de roca-total, obtenidas de los batolitos jurásicos más antiguos, están relacionadas con este evento, el cual, en la Cordillera Real, incluyó a un importante elemento de cizallamiento (?)dextral a lo largo de zonas empinadas a verticales con rumbo NNE-SSW.

Parte del complejo acrecional podría tener una historia más antigua, pero se ha sugerido que sus principales componentes probablemente fueron ensamblados durante este evento. Desde hace ca. 140 Ma en adelante, se considera que los granitoides del complejo metamórfico El Oro fueron tectónicamente derivados, sea del margen occidental de la Cordillera Real (división Loja), o de la extensión meridional en el norte de Perú (Arco de Olmos de Cobbing et al., 1981), y fueron incorporados al prisma de acreción.

En el sur, el complejo metamórfico El Oro está suprayacido en inconformidad por los sedimentos de la cuenca Alamor, los cuales varían en edad desde el Cretácico Superior al Inferior. La subsidencia de la estructura Alamor (extendida dentro del noroccidente de Perú como la cuenca Lancones) comenzó en el Aptiense (ca. 110 Ma) (Baldock, 1982; Cobbing et al., 1981), lo que proporciona una edad mínima para esta porción del prisma de acreción. Datos paleomagnéticos de la cuenca Lancones (Mourier et al., 1988) sugieren una rotación en sentido horario, progresiva (in situ), de hasta 90°, durante el Cretácico Temprano a Tardío. Este sentido de rotación es consistente con el régimen de cizalla dextral y explicaría el rumbo E-W del complejo metamórfico El Oro, debido a que estas rocas formaron el 'basamento' de la cuenca Lancones/Alamor, también debieron haber sido rotadas.

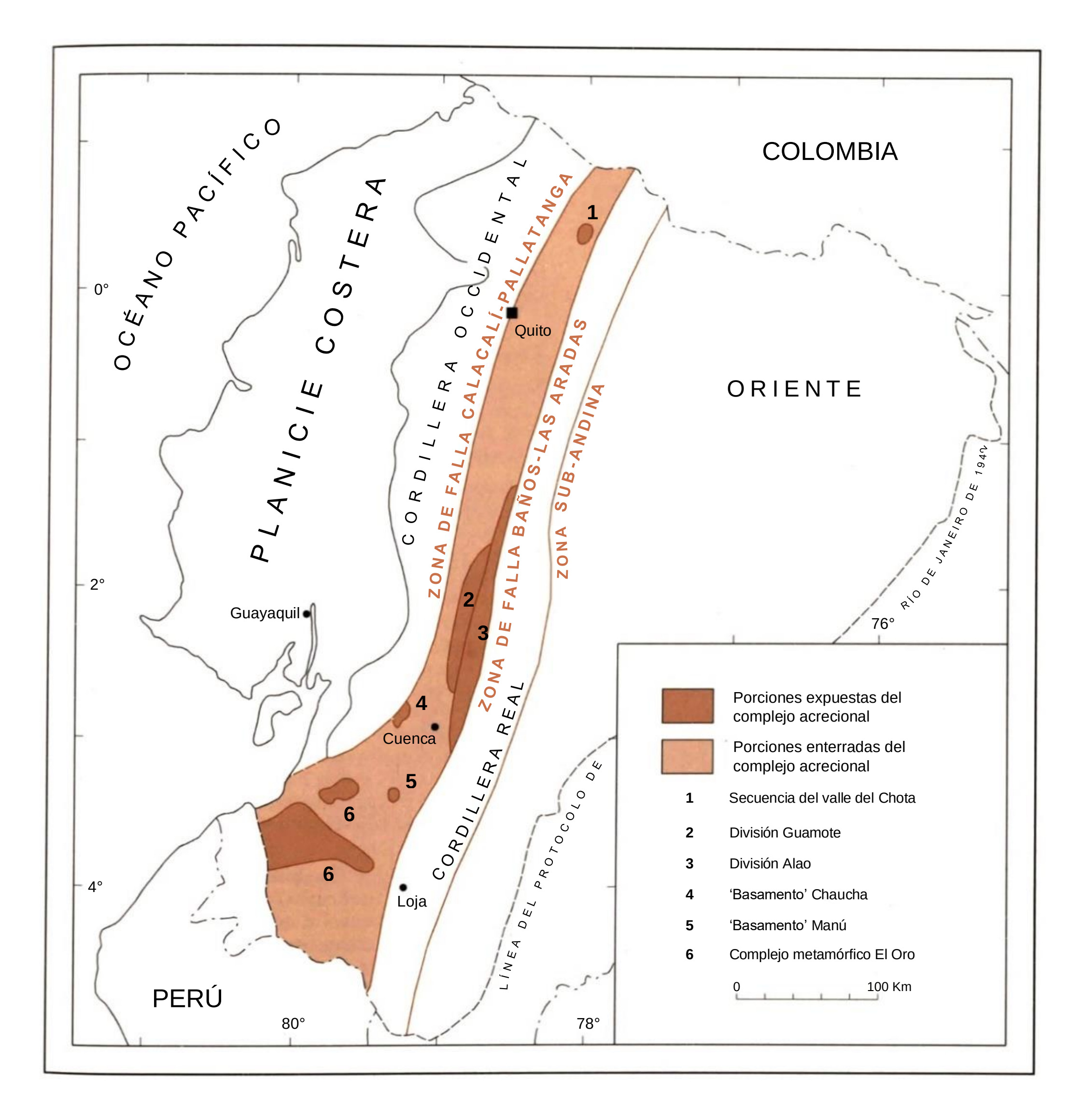


Figura 30. Bosquejo de la porción oriental del complejo acrecional de los Andes del Norte, segmento del Ecuador.

La zona de falla Calacalí-Pallatanga representa el límite occidental del prisma de acreción aquí descrito. Aunque este límite está geográficamente bastante bien-definido, la edad de la acreción de la alóctona Cordillera Occidental (a lo largo de la falla) es incierta. Sin embargo, generalmente se acepta que tuvo lugar ya sea en el Cretácico Tardío (ca. 70 Ma) (Aspden et al., 1992; Megard, 1989) o en algún tiempo durante el Terciario Inferior (pre. 38 Ma) (Van Thournout et al., 1992; Daly, 1989).

Se requiere más trabajo, particularmente la 'matriz' del complejo acrecional debería ser datada para establecer su edad de formación. Con base en observaciones discutidas anteriormente, de forma tentativa se puede sugerir que la mayoría del complejo fue ensamblado entre el Jurásico más Tardío y el Cretácico Tardío (ca. 140-70 Ma), pero es posible que este rango pueda extenderse conforme se disponga de más información.

GEOLOGÍA ECONÓMICA

General

El oro es el principal mineral de importancia económica en la provincia de El Oro, éste ha sido trabajado desde tiempos precolombinos. No se dispone de valores de producción confiables, pero probablemente entre 2 y 3 toneladas de oro son extraídas anualmente. La mayoría de áreas conocidas de mineralización económica están ubicadas cerca, pero fuera de los límites del complejo metamórfico El Oro. La distribución general de estas ocurrencias es de interés (Figura 31), puesto que existe una relación espacial con el complejo.

Las vetas polimetálicas mesotermales/epitermales de los distritos mineros Portovelo/Zaruma y Ayapamba (INEMIN-AGCD-ABOS, 1988; UNDP, 1972; Billingsley, 1926) constituyen la mayor parte de producción de oro de roca-dura. Recientes descubrimientos en y alrededor de Cerro Pelado, incluyendo aquel de una chimenea de brecha (*breccia pipe*) que contiene oro-libre, son actualmente trabajados por varios grupos usando métodos artesanales. Al norte de Cerro Pelado, cerca de Bella María, el Grupo Los Lilenes (Ecuminas/Odin) extrae alrededor de 0.25 toneladas/año de oro del depósito aluvial del Río Calaguro, y al este, en las cercanías de Cerro Azul, se ha reportado que se trabaja en vetas de cuarzo-polimetálicas auríferas. Al oeste de Cerro Azul, en el Cerro Los Cangrejos, pequeñas manifestaciones de oro han sido registradas y, en el Río Daucay, río-arriba de Playas de Daucay, actualmente se explota una veta polimetálica con rumbo N-S de aproximadamente 1m de ancho. En el extremo este, pequeñas cantidades de oro son extraídas del depósito epitermal Ligzhu (E. Pillajo, comunicación personal). Adicionalmente, en el área de Uzhcurrumi, a lo largo de la vía Chilla y casi 1km al sur del pequeño poblado de Cerro Azul en la vía Paccha, existen algunas galerías someras, ahora abandonadas, que por lo general están asociadas con pequeñas fracturas débilmente mineralizadas (?auríferas) cerca de los contactos intrusivos.

Todas las ocurrencias mencionadas están espacialmente asociadas con el complejo volcano-plutónico del Terciario y sería importante que gran parte de la mineralización estuviese concentrada cerca de la zona de contacto entre estas rocas con las del complejo metamórfico El Oro.

OCURRENCIAS DE MINERALES METÁLICOS

Las ubicaciones de las ocurrencias referidas a continuación son mostradas en la Figura 31.

Área de Cerro Pelado

Varias minas activas y abandonadas están presentes en el área de Cerro Pelado, tres de estas fueron visitadas por el Dr. R. A. Jemielita, el cual contribuyó con las siguientes breves descripciones.

a. Mina El Antimonio (**La Avanzada 6272/95043**). Esta mina abandonada y planta piloto de molienda está ubicada en la Quebrada Guayabo. La galería principal tiene un rumbo aproximado E-W y se ubica dentro de un granito cizallado, de textura granular (unidad Limón Playa, división Palenque) que contiene xenolitos de esquisto micáceo (<0.5m de diámetro). La fábrica de cizalla es casi vertical con rumbo E-W. La veta mineralizada tiene aproximadamente 40cm de ancho y comprende cuarzo oqueroso (*vuggy*) y masivo con estibina gruesa. Son comunes los bloques rodados de brechas con turmalina y una pequeña veta de brecha intrusiva fue observada justo río-arriba de la principal galería. El área fue trabajada por la Compañía Ecuaba para antimonio. Se han obtenido análisis de oro y plata de hasta 14g/ton, sin embargo, los valores promedio son menores que 1g/ton. Varias otras galerías/túneles de exploración están presentes río-arriba de la principal galería.

b. Mina El Guayabo (**La Avanzada 6274/95052**). Esta mina abandonada (ex-Ecuaba) se encuentra en las partes altas de la Quebrada Guayabo a una altitud de casi 700m. La roca caja está compuesta por esquistos cuarzosos y filitas negras cizalladas, en parte grafíticas (matriz de la división mélange Palenque), que además tienen un buzamiento empinado y un rumbo generalmente E-W. Varias galerías están presentes en el lado occidental del valle del río, y la veta (expuesta en el río) tiene dirección N15°E y buzamiento 50°NE. La veta contiene cuarzo, arsenopirita, pirita con valores promedio de oro de 7g/ton y hasta 150000 toneladas de reservas de oro. En la galería visitada, la(s) veta(s) varían su ancho entre 0.1 a 1.0m y están bandeadas con sulfuros bastante masivos.

En algunos lugares la veta principal parece ser aproximadamente paralela a la fábrica de la roca caja.

c. Mina Cerro Pelado (**La Avanzada 6278/96063**). El recién descubierto depósito de Cerro Pelado parece estar ubicado en capas planas de volcánicos riodacíticos que suprayacen al basamento metamórfico. La mina está cerca de la cima del Cerro Pelado a una altitud de casi 1280m y consiste en una chimenea de brecha, la cual ha sido trabajada para oro-libre usando métodos artesanales. Cuando se realizó la visita a comienzos de 1992, un '*agujero de la gloria*' de aproximadamente 100m de profundidad había sido excavado en la chimenea de brecha, la cual generalmente es de grano grueso con clastos alargados y angulares de (?) esquistos micáceos grises, fuertemente sericitizados, dentro de una matriz oquerosa bastante abierta. Los clastos a menudo están cubiertos con cuarzo lechoso, transparente, cristalino, oqueroso, mezclado con óxidos de hierro. El oro a simple vista es bastante común. Originalmente la chimenea de brecha estuvo expuesta en una estrecha cresta con una superficie aflorante de 26 × 20m, sin embargo, se ensancha a profundidad y la extensión vertical de mineralización es desconocida.

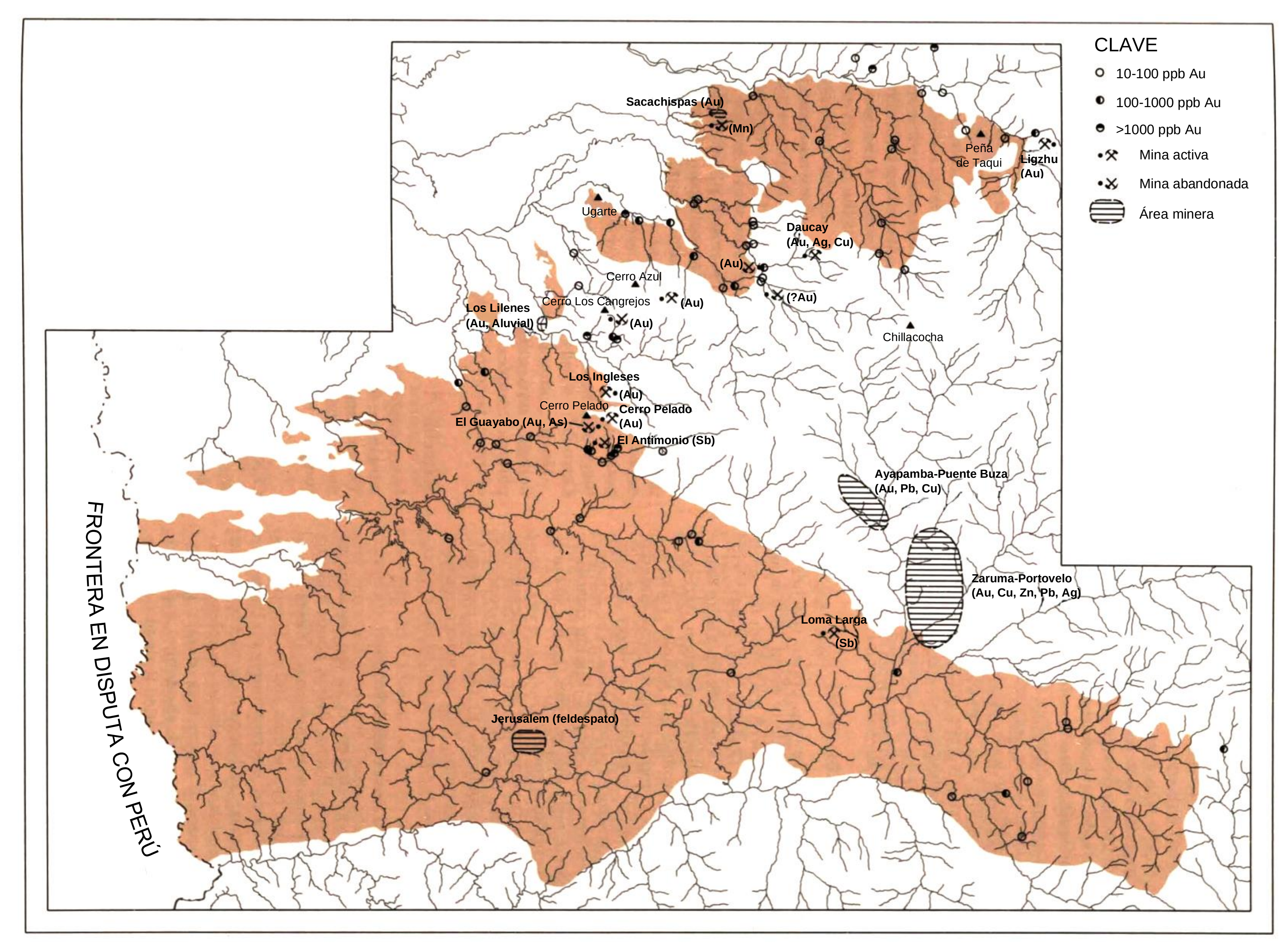


Figura 31. Áreas de minería establecida y distribución de valores anómalos de oro en sedimentos fluviales (>10ppb)

Varios trabajos de pequeña escala se encuentran dentro del área de Cerro Pelado (e.g. Los Ingleses). Estos no han sido visitados pero los reportes indican que consisten principalmente en vetas de cuarzo auríferas, polimetálicas. Bloques de brechas intrusivas alteradas hidrotermalmente (sílice, sericita y turmalina) son comunes en varios ríos que drenan en el área de Cerro Pelado, pero aún no se han reportado valores de interés económico de estas rocas.

Mina Loma Larga (Zaruma ca. 645/9588)

La mina Loma Larga se encuentra en las partes altas de la Quebrada Lozumbe a una altitud aproximadamente de 1000m; se accede por un sendero desde el pequeño asentamiento de Loma Larga (**Zaruma 646/9590**). La mina fue visitada a comienzos de 1991 cuando se hacían intentos para rehabilitar esta operación de pequeña escala. No fue posible acceder a la galería principal, pero muestras recolectadas del vertedero de la mina consisten en material de veta de cuarzo que contiene estibina oquerosa (*vuggy*) a masiva a cristalina, hospedada en una (?)cuarcita frágilmente fracturada. Las rocas de caja son cuarcitas con rumbo E-W y buzamiento empinado y, granitos miloníticos fuertemente cizallados (unidad La Bocana del complejo granitoide Moromoro).

Vetas de cuarzo que contienen estibina, posiblemente relacionadas con la zona de cizalla, han sido recientemente reportadas del área de Quebrada El Oso, un tributario en el banco oriental del Río Moromoro. Esta ocurrencia no pudo ser confirmada puesto que no fue visitada por el Proyecto.

Mina Manganeso (Santa Rosa ca. 6365/96296)

Esta 'mina', a veces referida como la mina Sacachispas, se encuentra en el Estero Puerto Balsas, casi 1km al sur de San Ramón/Sacachispas (**Santa Rosa 636/9630**) a una altitud menor que 100m. Las rocas de caja comprenden metasedimentos silicificados (matriz de la división mélange Palenque) y de acuerdo con Harrington (1957) la 'mina', que actualmente ha sido casi por completo explotada, consiste en lentes de cuarzo que contienen apreciables cantidades de rodonita rosada, masiva y psilomelana negra. El lente más grande identificado es de aproximadamente 6m de longitud y 2m de ancho, probablemente no es de interés comercial, excepto quizá para propósitos ornamentales.

Área minera de oro Sacachispas (Santa Rosa 637/9630)

En el Estero Sacachispas, mineros artesanales han trabajado intermitentemente cantidades menores de oro aluvial y de roca-dura. La roca hospedante consiste en esquistos con cuarzo, sericita, meteorizados (matriz de la división mélange Palenque), los cuales contienen vetas de cuarzo irregulares, concordantes/discordantes y *stringers* con óxidos de hierro (?después de pirita) y menores cantidades de oro-libre.

Oro aluvial

Además de la operación de Los Lilenes, varios ríos en el área del complejo metamórfico El Oro son, o han sido, trabajados para oro.

Los principales ríos de interés son los Ríos Amarillo y Calera que drenan los distritos mineros de Portovelo/Zaruma y Ayapamba. Aunque se han encontrado ricos *pockets* de oro aluvial, las cantidades de aluvión son insuficientes para ser de interés comercial. Existen intermitentes operaciones de pequeña escala en el Río Santa Rosa y en los Ríos Naranjo/Arenillas al este de Piedras y río-abajo de la represa Tahuín. De acuerdo con Wallis (1944), la mayoría de los tributarios del banco norte del Río Naranjo son auríferos, él también reporta la recuperación (en la Quebrada Las Damas) de un nugget que pesaba 6½ onzas. Manifestaciones menores de oro han sido lavadas durante el presente estudio en el Río Raspas, al oeste de La Chilca, el Río Chico y la Quebrada Chontas. En el área alrededor de Valle Hermoso y Palenque varios ríos contienen oro aluvial, el cual es trabajado informalmente y sobre bases irregulares por pequeños grupos de mineros.

Adicionalmente a estas conocidas ocurrencias, se considera que los grandes, no-consolidados, depósitos sedimentarios (del Terciario y Cuaternario) de la planicie costera también tienen potencial para operaciones mineras de oro aluvial. Sin embargo, las áreas probablemente más prospectivas, en la región cerca de Cerro Pelado y Cerro Azul, a menudo están densamente cultivadas.

Se asume que gran parte del oro aluvial ha sido derivado de, o está asociado con, el complejo volcano-plutónico del Terciario que intruye y/o suprayace la mayoría del complejo metamórfico en el este.

Magnetita

Se encuentran grandes cantidades de magnetita octaédrica como arena negra en el Río Arenillas, río-abajo de la represa Tahuín. Probablemente la magnetita se derivó de la meteorización de las harzburgitas serpentinizadas de la unidad El Toro (complejo Raspas), pero existen pocas posibilidades de tener interés comercial.

Cromo, níquel y metales del grupo del platino (PGM)

Dentro de la división mélange Palenque existen varios cuerpos ultramáficos. El más grande pertenece a la unidad El Toro del complejo ofiolítico Raspas. Estas rocas generalmente están asociadas con altos valores de Cr y Ni y, podrían tener potencial para PGM.

OCURRENCIAS DE MINERALES NO-METÁLICOS

Mina de feldespato Jerusalem (Marcabelí ca. 622/9580)

La mina de feldespato Jerusalem consiste en una serie de pequeñas operaciones a cielo-abierto situadas aproximadamente a 1-2km al sur de Marcabelí. Los trabajos están localizados dentro del plutón Marcabelí y contienen vetas de feldespato pegmatíticas, leucocráticas y meteorizadas, las cuales son extraídas por Cerámica Andina Ca. para su uso en la industria de la cerámica.

De acuerdo con los registros de la compañía aproximadamente 4000 a 5000 toneladas de material se producen anualmente y las reservas se estiman en casi 80000 toneladas.

Canteras

Existen varias canteras generalmente pequeñas dentro del complejo metamórfico El Oro, las cuales a veces son trabajadas intermitentemente para suplir las necesidades locales y/o provinciales. El principal tipo de roca explotada es la anfibolita del complejo máfico Piedras, especialmente de la unidad Quebrada Plata, al sur de la zona de falla Zanjón-Naranjo. Este material ha sido ampliamente utilizado en toda la provincia de El Oro para la construcción de vías.

En el área de El Toro la harzburgita serpentinizada de la unidad El Toro (complejo Raspas) ha sido extensivamente explotada para *hardcore* (**La Avanzada 611/9600**), y fue usada en la construcción de la represa Tahuín. Estas canteras fueron recientemente re-abiertas para proporcionar material para la construcción de la autopista Santa Rosa-Huaquillas.

Al este de Pasaje, en la vía principal a Cuenca (**Machala 637/9632**), una nueva cantera ha sido recientemente abierta en la división mélange Palenque (matriz), de ésta se extrae material para tareas de relleno en Machala.

Arcilla para ladrillos

Los productos de meteorización del plutón Marcabelí son particularmente apropiados para la fabricación de ladrillo y tejas. Numerosas operaciones de pequeña escala se encuentran en este afloramiento, especialmente alrededor de los pueblos de Balsas y Marcabelí.

Arena y grava

De varios ríos se extrae arena y grava para su uso en la construcción local. Potencialmente varias toneladas de arena están disponibles en las partes bajas de las Quebradas Palmales/Chiquita. La primera es trabajada intermitentemente para suplir necesidades tanto locales como provinciales.

Rocas ornamentales

Varios granitos del complejo granitoide La Bocana (e.g. plutón La Florida) tendrían potencial como rocas ornamentales, pero la fuerte meteorización y la presencia de biotita ± moscovita podrían limitar su utilidad. Igualmente, dentro de la división mélange Palenque, existen varios cuerpos de serpentinita/harzburgita serpentinizada. El más grande pertenece a la unidad del Toro y puede ser de algún interés.

PROGRAMA DE MUESTREO DE SEDIMENTOS FLUVIALES

Introducción

Aunque el principal enfoque del Proyecto El Oro fue el mapeó geológico, también se condujo un programa de muestreo de sedimentos fluviales con el objetivo de proporcionar una base de datos geoquímica regional.

Un total de 172 muestras de sedimentos fluviales fueron recolectadas por tamizado húmedo en el campo, usando tamices de nylon resistente de tamaño 175. Las muestras fueron preparadas en Quito por Bondar Clegg (Inc.) y analizadas en su laboratorio en Vancouver para los siguientes elementos: Al, Fe (total), Mn, Mg, Ca, Na, K, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Y, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Ba, La, W, Pb, Bi, y Au. Los análisis fueron realizados por ICP excepto para el Au, el cual fue determinado por Ensayo al Fuego. Las ubicaciones detalladas de las muestras se encuentran en la Tabla 10 y los resultados geoquímicos obtenidos en la Tabla 11. La localización de las muestras (excepto de AB1 y AB53) se indican en la Figura 32. En algunos ríos también se recolectó concentrados de batea (ver Tabla 11), pero los datos analíticos no están disponibles para estas muestras.

Los datos geoquímicos no han sido tratados estadísticamente, pero algunos resultados seleccionados de ‘elementos traza’ de interés económico se mencionan a continuación.

Oro y plata

Los análisis de oro varían desde menores que 5ppb (límite de detección) a 7166ppb y una cantidad considerable de muestras, especialmente aquellas recolectadas de los drenajes cercanos al contacto con el complejo metamórfico El Oro con el complejo volcano-plutónico del Terciario, contienen valores mayores que 10ppb (Figura 31). Un grupo de valores muy altos fue obtenido del sur de Cerro Pelado (AB62, 3358ppb; AB64, 7166ppb; AB69, 5133ppb) (ver también AB65 y AB66) y del sur de Cerro Los Cangrejos (AB76, 1069ppb; AB77, 2895ppb) (ver también AB75). Más al norte, una muestra de Estero de la Poza Negra entregó 1560ppb (AB94) (ver también AB95, AB12, AB13, AB15 y AB16) y dos muestras de tributarios del banco norte del Río Jubones, los Ríos Vivar (AB2) y Mollepungu (AB3) dan valores de 1198ppb y 1389ppb, respectivamente.

En otras partes, cantidades menores de oro están asociadas con el Río Naranjo y sus tributarios, particularmente en el este (hasta 113ppb en AB60 de la Quebrada Platanillo), y en el sureste, valores de 30 a 124ppb fueron registrados de las Quebradas del Batén (AB49), Chaupi (AB104) y El Belén (AB105). Se obtuvo los siguientes valores ‘aislados’ (>100 ppb): 416ppb (AB86, Río Santa Rosa); 258ppb (AB19, tributario del Río Chillayacu que drena el depósito de Ligzhu, Figura 31); 116ppb (AB85, Estero Tomás); 111ppb (AB52, Río El Ari) y 110ppb (AB103, Quebrada El Salado).

La mayoría de los análisis de plata están bajo 0.2ppm (límite de detección) pero varían hasta 15.2ppm, con los valores más altos de los Ríos Mollepungu (AB3, 15.2ppm) y Vivar (AB2, 11.1ppm). Las muestras de Cerro Pelado (AB62, AB64, AB66 y AB69) entregaron valores entre 1.8 y 9.5ppm de plata y aquellas de Cerro Los Cangrejos (AB75, AB76 y AB77) entre 1.5 y 2.9ppm.

Tabla 10. Muestras de sedimentos fluviales y concentrados de minerales pesados.

MUESTRA	CARTA TOPOGRÁFICA	RÍO	COORDENADAS	MUESTRA	CARTA TOPOGRÁFICA	RÍO	COORDENADAS
AB-001 F**	Uzhcurrumi	Q. Santa Martha	6638-96355	**AB-063 F**	La Avanzada	Q. Zabayán	6278-96028
AB-002 F P	Uzhcurrumi	R. Vivar	6544-96358	**AB-064 F P**	La Avanzada	R. Santa Rosa Trib.	6291-96037
AB-003 F P	Uzhcurrumi	R. Mollepungu	6494-96340	**AB-065 F**	La Avanzada	R. Santa Rosa Trib.	6271-96034
AB-004 F P	Uzhcurrumi	R. Muyuyacu	6481-96348	**AB-066 F**	La Avanzada	R. Santa Rosa Trib.	6269-96035
AB-005 F P	Uzhcurrumi	R. Quera	6478-96328	**AB-067 F**	La Avanzada	R. Santa Rosa Trib.	6316-96041
AB-006 F P	Chilla	R. Quera	6497-96309	**AB-068 F**	La Avanzada	R. Santa Rosa Trib.	6326-96038
AB-007 F P	Uzhcurrumi	R. Cune	6535-96323	**AB-069 F**	La Avanzada	R. Santa Rosa	6288-96034
AB-008 F P	Chilla	Q. Carabota	6569-96289	**AB-070 F**	La Avanzada	Q. La Chilca	6221-96046
AB-009 F P	Uzhcurrumi	Q. Carabota	6549-96322	**AB-071 F P**	La Avanzada	R. Santa Rosa Trib.	6193-96041
AB-010 F P	Uzhcurrumi	R. Casacay	6438-96319	**AB-072 F**	La Avanzada	R. Santa Rosa Trib.	6181-96042
AB-011 F P	Uzhcurrumi	R. Huizho	6407-96316	**AB-073 F**	La Avanzada	R. Santa Rosa Trib.	6177-96053
AB-012 F P	Santa Rosa	R. Negro Trib.	6334-96220	**AB-074 F**	La Avanzada	Q. La Pereira	6170-96071
AB-013 F P	Santa Rosa	Q. Las Pavas	6352-96191	**AB-075 F P**	La Avanzada	R. Viron Chico Trib.	6289-96127
AB-014 F P	Santa Rosa	R. Dumari	6376-96167	**AB-076 F P**	La Avanzada	R. Viron Chico Trib.	6290-96123
AB-015 F P	Santa Rosa	R. Daucay Trib.	6384-96169	**AB-077 F**	La Avanzada	R. Viron Chico Trib.	6268-96127
AB-016 F P	Chilla	R. Colorado	6407-96181	**AB-078 F P**	Santa Rosa	R. Chico	6260-96167
AB-017 F P	Chilla	R. Chilola	6405-96173	**AB-079 F**	La Avanzada	Q. La Garganta	6180-95988
AB-018 F P	Chilla	Q. Cerro Azul	6405-96169	**AB-080 F P**	La Avanzada	Q. Sambotambo	6349-95970
AB-019 F P	Chilla	R. Chillayacu Trib.	6622-96289	**AB-081 F P**	La Avanzada	R. Piedras	6204-95980
AB-020 F P	Chilla	R. Palenque	6402-96265	**AB-082 F P**	La Avanzada	Q. De Cañas	6153-95967
AB-021 F P	Chilla	R. Papayacu	6392-96255	**AB-083 F P**	La Avanzada	R. Piedras Trib.	6206-95964
AB-022 F P	Marcabelí	R. Balsas Trib.	6306-95858	**AB-084 F**	La Avanzada	R. Naranjo Trib.	6236-95973
AB-023 F P	Marcabelí	R. Balsas Trib.	6302-95859	**AB-085 F P**	La Avanzada	Est. Tomás	6185-96097
AB-024 F P	Marcabelí	R. Marcabelí	6183-95779	**AB-086 F P**	La Avanzada	R. Santa Rosa	6163-96089
AB-025 F P	Marcabelí	Q. Agua Negra	6182-95810	**AB-087 F P**	La Avanzada	R. Santa Rosa Trib.	6181-96083
AB-026 F P	Marcabelí	Q. Balsas	6286-95848	**AB-088 F P**	Santa Rosa	Est. Culebrero Trib.	6257-96194
AB-027 F P	Marcabelí	R. Balsas Trib.	6278-95838	**AB-089 F**	Santa Rosa	Est. La Quebrada	6262-96198
AB-028 F P	Marcabelí	Q. Milagro	6286-95852	**AB-090 F P**	La Avanzada	R. Panupali	6324-95971
AB-029 F P	Marcabelí	Q. La Esperanza	6278-95851	**AB-091 F**	Santa Rosa	R. Colorado	6353-96235
AB-030 F P	Marcabelí	R. Marcabelí	6205-95824	**AB-092 F P**	Santa Rosa	R. Raspas	6354-96238
AB-031 F	Puyango	Q. Los Zábalos	6010-95720	**AB-093 F P**	La Avanzada	R. Raspas	6208-96025
AB-032 F P	Puyango	Q. Los Zábalos	6010-95715	**AB-094 F P**	Santa Rosa	Est. De La Poza Negra	6299-96226
AB-033 F P	Puyango	Q. Las Palmas	6056-95722	**AB-095 F P**	Santa Rosa	Est. Zapato	6309-96220
AB-034 P	Puyango	R. Puyango Trib.	6042-95718	**AB-096 F P**	Zaruma	R. Ambocas	6648-95814
AB-035 F	Puyango	Q. El Inca	6002-95719	**AB-097 F**	Zaruma	Q. Limoncillo	6647-95818
AB-036 F P	La Avanzada	R. Zaracay	6271-95959	**AB-098 F**	Marcabelí	Q. El Duende	6386-95855
AB-037 F P	Marcabelí	R. del Oro	6185-95878	**AB-099 F**	Marcabelí	Q. El Caucho	6382-95859
AB-038 F P	Marcabelí	Q. Primavera	6239-95901	**AB-100 F**	Zaruma	Q. Alejanita	6395-95881
AB-039 F P	Marcabelí	Q. Valle Hermoso	6219-95906	**AB-101 F**	Marcabelí	Q. De Nalacapa	6385-95893
AB-040 F P	Marcabelí	Q. De Guerras	6342-95785	**AB-102 F P**	Chaguarpamba	R. Yaguachi	6557-95760
AB-041 F P	Marcabelí	R. Zaracay	6289-95928	**AB-103 F**	Zaruma	Q. El Salado	6512-95858
AB-042 F P	Marcabelí	Q. Guayacán	6133-95919	**AB-104 F**	Zaruma	Q. Chaupi	6615-95775
AB-043 F P	Marcabelí	Q. San Luis	6132-95918	**AB-105 F**	Chaguarpamba	Q. El Belén	6612-95729
AB-044 F P	Las Lajas	Q. Las Lajas Trib.	6081-95853	**AB-106 F P**	Las Lajas	Q. El Guarumo	6018-95899
AB-045 F P	Paccha	R. Moro-Moro	6403-95965	**AB-107 F**	Las Lajas	Q. El Guarumo	6016-9587
AB-046 F	Zaruma	R. Lozumbe	6476-95877	**AB-108 F P**	Marcabelí	Q. Bruno	6115-95946
AB-047 F P	Zaruma	Q. Del Trapiche	6574-95811	**AB-109 F P**	Marcabelí	Q. Bruno Trib.	6117-95945
AB-048 F P	Zaruma	Q. Naranjo	6583-95805	**AB-110 F**	Marcabelí	Q. Bruno Trib.	6121-95946
AB-049 F	Zaruma	Q. Del Batén	6599-95763	**AB-111 F**	Arenillas	Q. Tahuín Chico	6055-95951
AB-050 F	Zaruma	Q. Naranjo Trib.	6582-95798	**AB-112 F**	Las Lajas	Q. Canoas	6050-95942
AB-051 F	Zaruma	Q. Usulaca	6514-95838	**AB-113 F**	Las Lajas	Q. Cañas	6047-95925
AB-052 F P	Santiago	R. El Ari	6773-95798	**AB-114 F P**	Arenillas	Q. Las Palmas	6111-96045
AB-053 F**	Catamayo	Q. De La Concha	6745-95661	**AB-115 P**	Arenillas	R. Arenillas	6095-96006
AB-054 F P	Paccha	Q. Chontas	6423-95962	**AB-116 F P**	Chilla	R. Casacay	6502-96218
AB-055 F	La Avanzada	Q. Plata	6349-95958	**AB-117 F P**	Chilla	R. Gallo Cantana	6501-96217
AB-056 F P	La Avanzada	R. Naranjo Trib.	6338-95965	**AB-118 F**	Chilla	R. Casacay Trib.	6492-96228
AB-057 F	La Avanzada	R. Naranjo Trib.	6326-95963	**AB-119 F**	Chilla	Est. Dumari	6490-96237
AB-058 F	La Avanzada	R. Naranjo Trib.	6322-95963	**AB-120 F**	Chilla	R. Casacay Trib.	6488-96247
AB-059 F P	La Avanzada	R. Naranjo Trib.	6282-95967	**AB-121 F P**	Chilla	R. Casacay Trib.	6479-96254
AB-060 F	La Avanzada	Q. Platanillo	6355-95966	**AB-122 F**	Chilla	Est. Dumari	6451-96283
AB-061 F P	La Avanzada	Q. De Damas	6258-95983	**AB-123 F P**	Chilla	R. Casacay Trib.	6452-96292
AB-062 F P	La Avanzada	R. Santa Rosa	6285-96031				

Tabla 10. Muestras de sedimentos fluviales y concentrados de minerales pesados. *Continuación*

MUESTRA	CARTA TOPOGRÁFICA	RÍO	COORDENADAS	MUESTRA	CARTA TOPOGRÁFICA	RÍO	COORDENADAS
AB-124 F	Chilla	R. Colorado Trib.	6393-96198	**AB-149 F**	Chilla	R. Huizho Trib.	6405-96299
AB-125 F	Chilla	R. Colorado	6397-96199	**AB-150 F**	Uzhcurrumi	R. Tobar	6404-96319
AB-126 F	Chilla	R. Raspas Trib.	6396-96211	**AB-151 F**	Chilla	Q. Trancaloma	6604-96255
AB-127 F	Chilla	R. Raspas Trib.	6397-96216	**AB-152 F**	Chilla	R. Chillayacu	6614-96284
AB-128 F	Chilla	R. Raspas Trib.	6398-96217	**AB-153 F**	Chilla	R. Chillayacu Trib.	6598-96287
AB-129 F	Chilla	R. Raspas	6398-96218	**AB-154 F**	Chilla	Q. El Pindo	6590-96297
AB-130 F	Chilla	R. Raspas Trib.	6395-96216	**AB-155 F**	Santiago	R. Naranjo	6739-95795
AB-131 F	Chilla	Est. San Antonio	6397-96231	**AB-156 F**	Santiago	R. Suares	6698-95799
AB-132 F	Chilla	Est. San Antonio	6398-96231	**AB-157 F**	Santiago	R. Suares Trib.	6699-95799
AB-133 F	Chilla	Est. San Antonio	6398-96233	**AB-158 F**	Santiago	R. Granadillo	6681-95802
AB-134 F	Chilla	Est. San Antonio	6399-96237	**AB-159 F**	Santiago	R. Ambocas	6673-95806
AB-135 F	Chilla	R. Quera Trib.	6528-96261	**AB-160 F**	Santiago	R. Ambocas Trib.	6671-95810
AB-136 F	Chilla	R. Quera Trib.	6522-96265	**AB-161 F**	Santiago	Q. Tabloncillo	6668-95817
AB-137 F	Chilla	R. Quera	6522-96266	**AB-162 F**	Santiago	Q. Luzumbe	6672-95827
AB-138 F	Chilla	R. Quera Trib.	6510-96281	**AB-163 F**	Catamayo	Q. Del Sharve	6713-95733
AB-139 F	Chilla	R. Quera Trib.	6511-96284	**AB-164 F**	Catamayo	Q. Del Verde	6692-95746
AB-140 F	Chilla	R. Casacay	6519-96180	**AB-165 F**	Catamayo	Q. Del Sharve	6682-95752
AB-141 F	Chilla	R. Casacay Trib.	6518-96180	**AB-166 F**	Catamayo	Q. Del Sharve	6674-95759
AB-142 F	Chilla	R. Gallo Cantana Trib.	6502-96194	**AB-167 F**	Zaruma	Q. San Joaquín	6663-95762
AB-143 F	Chilla	R. Gallo Cantana	6500-96194	**AB-168 F**	Zaruma	Q. Rumipotrero	6631-95788
AB-144 F	Chilla	Est. Dumari	6484-96195	**AB-169 F**	Las Lajas	Q. Lajas Trib.	6023-95801
AB-145 F	Chilla	R. Huizho Trib.	6423-96281	**AB-170 F**	Las Lajas	Q. El Guineo Trib.	5987-95854
AB-146 F	Chilla	R. Huizho Trib.	6413-96295	**AB-171 F**	Las Lajas	Q. El Guineo Trib.	5985-95851
AB-147 F	Uzhcurrumi	Est. Las Minas	6400-96391	**AB-172 F**	Las Lajas	Q. Palmales	6068-95888
AB-148 F	Uzhcurrumi	R. Huizho	6402-96318	**AB-173 F**	Las Lajas	Q. Palmales	6067-95887

** Muestras fuera del área cubierta por la Figura 32.
F Muestra de sedimentos fluviales, ver Apéndice para los resultados analíticos.
P Concentrado de minerales pesados (datos analíticos no disponibles)
Est. Estero
Q. Quebrada
R. Río
Trib. Tributario

Arsénico, antimonio, bismuto y teluro

Los análisis de arsénico tienen valores desde menores que 5ppm (límite de detección) a mayores que 2000ppm, pero la mayoría de muestras contiene menos de 30ppm. En general, parece existir una buena correlación entre arsénico y oro, además, los valores más altos registrados fueron de muestras recolectadas cerca del contacto del complejo metamórfico El Oro con el complejo volcano-plutónico del Terciario. El área de Cerro Pelado (AB62, AB63, AB64, AB65, AB66 y AB69) entregó valores entre 40 y mayores que 2000ppm, mientras que muestras recolectadas cerca de Cerro Los Cangrejos (AB75, AB76, AB77 y AB78) varían desde 49 a más de 2000ppm. La muestra AB86, del Río Santa Rosa, contenía 98ppm y, en el norte, valores de 170ppm (AB2) y 496ppm (AB3) fueron registrados de los Ríos Vivar y Mollepungu. Valores de arsénico mayores que 50ppm fueron también obtenidos de los siguientes ríos: Río Colorado (AB16, 206ppm); Río El Ari (AB52, 101ppm); Río Raspas (AB129, 53ppm); Quebrada Carabota (AB9, 51ppm) y un tributario innominado del Río Casacay (AB140, 51ppm).

Generalmente los análisis de antimonio tienen valores menores que 5ppm (límite de detección), pero valores entre 51 y 286ppm (AB62, AB64, AB65, AB66 y AB69) fueron obtenidos del área de Cerro Pelado y, 91ppm (AB2) y 46 ppm (AB3) de los Ríos Vivar y Mollepungu. En otras partes, los valores de antimonio son menores que 10ppm, con la excepción de los siguientes ríos: Quebrada Limoncillo (AB97, 17ppm); Río Yaguachi (AB102, 18ppm); Quebrada El Salado (AB103, 21ppm); Quebrada Chaupi (AB104, 15ppm); Quebrada El Belén (AB105, 12ppm) y Río Quera (AB137, 12ppm).

Los análisis de bismuto fueron similares a los de antimonio y la mayoría de muestras contenía valores menores que 5ppm (límite de detección). Los únicos valores con importancia fueron registrados en el área de Cerro Pelado (AB62, AB64 y AB69, 57-104ppm) y de los Ríos Vivar y Mollepungu (AB2 y AB3, 23-25ppm). Solo una muestra (AB77, 17ppm) del área de Cerro Los Cangrejos, contenía más de 10ppm de bismuto.

Sólo cuatro muestras contenían valores mayores que 10ppm (límite de detección) de teluro. Tres de estas son del área de Cerro Pelado (AB62, AB64 y AB69, 28-47ppm) y la otra fue recolectada de la Quebrada de Cañas (AB82, 14ppm).

Tabla 11. Geoquímica de las muestras de sedimentos fluviales.

Muestra	Al PCT	FeTot PCT	Mn PCT	Mg PCT	Ca PCT	Na PCT	K PCT	V PPM	Cr PPM	Co PPM	Ni PPM	Cu PPM	Zn PPM	As PPM
AB-001*	2.32	4.99	0.08	0.28	0.81	0.09	0.15	148	85	9	6	43	73	28
AB-002	2.64	6.97	0.06	0.38	0.25	0.02	0.26	96	48	11	7	8067	107	170
AB-003	2.49	6.85	0.05	0.50	0.37	0.09	0.26	133	160	53	11	2629	93	496
AB-004	3.71	3.80	0.06	0.59	0.43	0.06	0.31	92	94	12	9	58	63	24
AB-005	2.45	2.48	0.08	0.30	0.21	0.03	0.40	47	112	15	22	53	41	11
AB-006	2.14	2.72	0.05	0.49	0.19	0.04	0.49	46	300	9	25	46	56	8
AB-007	2.65	3.02	0.05	0.53	0.22	0.04	0.42	56	265	10	26	39	51	6
AB-008	4.64	3.69	0.06	0.68	0.20	0.02	0.30	73	100	12	12	30	75	15
AB-009	2.05	2.74	0.04	0.45	0.33	0.09	0.27	100	158	10	11	54	42	51
AB-010	2.43	2.85	0.04	0.70	0.46	0.08	0.46	61	261	8	25	30	54	10
AB-011	2.97	3.51	0.04	0.56	0.17	0.04	0.69	53	224	9	25	29	74	15
AB-012	2.43	3.45	0.05	0.51	0.43	0.08	0.25	107	187	10	18	37	46	20
AB-013	2.22	4.10	0.04	0.32	0.16	0.03	0.27	157	207	11	14	47	33	10
AB-014	3.40	7.19	0.05	0.47	0.34	0.06	0.17	348	143	13	15	75	51	10
AB-015	3.39	3.48	0.03	0.77	0.06	0.02	0.71	54	130	13	38	62	41	22
AB-016	3.14	3.10	0.04	1.11	0.89	0.12	0.37	73	236	18	29	187	50	206
AB-017	3.15	4.94	0.05	0.81	0.61	0.13	0.30	150	161	16	23	38	98	55
AB-018	2.75	7.60	0.05	0.72	0.70	0.13	0.25	322	192	14	21	36	48	22
AB-019	1.90	4.34	0.05	0.36	0.60	0.05	0.22	132	68	10	6	14	64	37
AB-020	2.80	2.74	0.04	0.80	0.49	0.07	0.48	63	172	9	19	23	53	16
AB-021	2.62	3.24	0.05	1.81	0.35	0.04	0.51	58	299	18	144	28	59	16
AB-022	1.92	2.18	0.04	0.42	0.10	0.02	0.47	31	100	7	15	11	42	13
AB-023	1.13	1.39	0.03	0.22	0.03	0.01	0.29	17	168	4	11	8	27	8
AB-024	1.05	1.26	0.03	0.17	0.04	0.05	0.27	14	245	4	10	8	25	6
AB-025	0.92	1.26	0.02	0.16	0.03	0.02	0.25	15	219	4	11	8	21	10
AB-026	1.51	2.03	0.09	0.32	0.17	0.05	0.35	28	212	7	11	10	36	5
AB-027	1.43	1.69	0.05	0.22	0.05	0.01	0.33	20	143	7	11	9	31	15
AB-028	1.18	2.03	0.07	0.22	0.05	0.02	0.35	36	219	6	14	12	39	7
AB-029	0.71	0.84	0.02	0.09	0.02	<0.01	0.15	12	203	3	6	8	16	<5
AB-030	1.13	1.52	0.03	0.23	0.04	0.02	0.32	18	267	5	14	9	30	<5
AB-031	1.77	1.93	0.02	0.19	0.08	0.02	0.41	24	378	6	17	12	33	8
AB-032	1.42	1.69	0.02	0.18	0.04	0.01	0.38	17	353	5	16	10	28	11
AB-033	1.19	1.46	0.02	0.19	0.05	0.01	0.31	13	122	6	13	9	35	10
AB-034	1.15	1.39	0.02	0.10	0.06	0.01	0.26	15	266	4	11	8	24	6
AB-035	1.67	1.92	0.02	0.19	0.07	<0.01	0.39	18	196	7	15	12	33	7
AB-036	1.23	1.75	0.03	0.26	0.06	0.02	0.35	20	281	5	25	10	44	9
AB-037	1.29	1.66	0.03	0.28	0.05	0.02	0.35	21	188	5	13	10	34	9
AB-038	2.00	2.25	0.03	0.34	0.07	0.03	0.54	31	396	7	20	12	44	<5
AB-039	1.65	2.07	0.03	0.38	0.15	0.05	0.51	29	342	6	19	12	41	11
AB-040	1.58	2.15	0.04	0.24	0.07	<0.01	0.41	18	76	8	16	12	45	10
AB-041	1.53	1.93	0.03	0.35	0.06	0.03	0.43	24	269	6	16	11	38	8
AB-042	3.07	2.95	0.05	0.63	0.14	0.02	0.69	49	145	9	21	19	70	10
AB-043	3.27	3.34	0.06	0.62	0.13	0.03	0.69	53	148	10	22	21	75	10
AB-044	1.38	1.91	0.03	0.28	0.05	0.02	0.35	23	157	5	13	9	39	9
AB-045	3.44	4.45	0.06	0.58	0.30	0.04	0.11	99	51	16	15	21	71	20
AB-046	1.42	2.11	0.03	0.27	0.06	0.02	0.36	24	118	6	14	11	44	15
AB-047	1.95	2.46	0.09	0.34	0.15	0.02	0.39	30	103	9	11	10	119	6
AB-048	2.34	2.38	0.06	0.32	0.07	0.02	0.37	37	137	7	14	12	51	8
AB-049	1.46	1.50	0.03	0.17	0.06	<0.01	0.25	16	179	4	12	9	78	10
AB-050	3.17	2.76	0.07	0.50	0.10	0.02	039	28	42	9	13	12	78	7
AB-051	1.10	1.41	0.03	0.21	0.14	0.03	0.28	17	194	5	10	9	61	16
AB-052	3.06	4.54	0.07	0.76	0.42	0.02	0.22	73	38	14	16	31	122	101
AB-053	2.09	3.66	0.08	0.55	3.48	0.01	0.21	101	31	14	18	45	225	26
AB-054	4.38	4.82	0.09	0.61	0.39	0.03	0.14	114	50	18	12	28	96	48
AB-055	2.79	3.07	0.05	0.55	0.17	0.02	0.52	45	174	10	24	22	76	9

* Muestras fuera del área cubierta por la Figura 32

Tabla 11. Geoquímica de las muestras de sedimentos fluviales. *Continuación*

Muestra	Sr PPM	Y PPM	Mo PPM	Ag PPM	Cd PPM	Sn PPM	Sb PPM	Te PPM	Ba PPM	La PPM	W PPM	Pb PPM	Bi PPM	Au PPB
AB-001	45	9	1	0.2	<0.2	<20	7	<10	112	8	<20	57	<5	12
AB-002	16	8	74	11.1	<0.2	<20	91	<10	54	11	<20	117	23	1198
AB-003	24	14	128	15.2	<0.2	<20	46	<10	153	36	405	89	25	1389
AB-004	31	7	6	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	267	12	<20	18	<5	35
AB-005	21	16	6	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	190	28	<20	16	<5	<5
AB-006	17	15	7	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	155	65	<20	10	<5	<5
AB-007	18	16	5	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	141	63	<20	14	<5	26
AB-008	42	8	3	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	164	17	<20	14	<5	15
AB-009	22	8	3	<0.2	<0.2	<20	6	<10	103	12	<20	14	<5	15
AB-010	21	35	4	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	150	146	<20	12	<5	6
AB-011	19	10	4	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	204	26	<20	13	<5	<5
AB-012	23	7	3	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	100	15	<20	18	<5	632
AB-013	12	5	4	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	101	13	<20	11	<5	646
AB-014	24	6	3	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	103	5	<20	44	<5	17
AB-015	11	9	3	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	162	17	<20	7	<5	323
AB-016	35	15	2	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	173	41	<20	15	<5	511
AB-017	38	7	3	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	133	9	<20	13	<5	31
AB-018	37	8	2	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	102	8	<20	11	<5	58
AB-019	41	7	2	0.2	<0.2	<20	<5	<10	136	12	<20	13	<5	258
AB-020	25	8	2	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	134	22	<20	10	<5	<5
AB-021	14	10	3	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	149	25	<20	10	<5	6
AB-022	9	8	2	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	97	21	<20	9	<5	<5
AB-023	5	7	2	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	69	27	<20	8	<5	<5
AB-024	5	6	4	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	65	21	<20	5	<5	16
AB-025	5	4	3	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	57	14	<20	6	<5	<5
AB-026	8	10	3	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	104	24	<20	14	<5	<5
AB-027	6	8	2	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	95	18	<20	10	<5	<5
AB-028	6	21	3	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	87	84	<20	12	<5	<5
AB-029	4	4	1	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	44	18	<20	4	<5	<5
AB-030	5	6	4	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	77	22	<20	6	<5	<5
AB-031	13	6	5	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	101	21	<20	12	<5	<5
AB-032	8	4	5	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	89	18	<20	8	<5	<5
AB-033	8	6	5	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	126	25	<20	11	<5	<5
AB-034	9	3	1	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	80	17	<20	7	<5	<5
AB-035	9	5	1	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	99	22	<20	13	<5	<5
AB-036	6	9	-	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	81	33	<20	8	<5	<5
AB-037	7	8	-	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	79	30	<20	8	<5	<5
AB-038	10	8	5	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	120	25	<20	10	<5	<5
AB-039	11	9	5	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	96	29	<20	8	<5	<5
AB-040	9	6	1	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	105	27	<20	14	<5	<5
AB-041	8	7	4	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	93	24	<20	10	<5	<5
AB-042	12	32	2	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	127	138	<20	12	<5	<5
AB-043	14	29	1	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	146	110	<20	16	<5	<5
AB-044	8	7	2	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	76	31	<20	7	<5	<5
AB-045	23	6	1	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	104	5	<20	11	<5	5
AB-046	8	10	2	<0.2	<0.2	<20	7	<10	88	50	<20	11	<5	<5
AB-047	9	9	1	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	120	33	<20	22	<5	<5
AB-048	7	10	2	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	106	33	<20	15	<5	<5
AB-049	5	6	3	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	72	22	<20	157	<5	124
AB-050	15	13	<1	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	138	40	<20	20	<5	<5
AB-051	6	8	3	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	62	24	<20	23	<5	<5
AB-052	30	11	1	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	122	12	<20	35	<5	111
AB-053	41	12	7	<0.2	0.6	<20	7	<10	177	10	<20	17	<5	<5
AB-054	30	8	1	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	148	7	<20	26	<5	8
AB-055	15	22	3	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	159	90	<20	11	<5	<5

Tabla 11. Geoquímica de las muestras de sedimentos fluviales. *Continuación*

Muestra	Al PCT	FeTot PCT	Mn PCT	Mg PCT	Ca PCT	Na PCT	K PCT	V PPM	Cr PPM	Co PPM	Ni PPM	Cu PPM	Zn PPM	As PPM
AB-056	3.28	3.35	0.07	1.30	3.11	0.13	0.17	107	211	22	49	36	51	15
AB-057	3.16	3.84	0.06	0.99	1.45	0.07	0.29	93	164	15	44	35	57	49
AB-058	3.57	3.53	0.07	0.72	0.58	0.04	0.41	68	162	14	33	31	83	14
AB-059	2.94	3.48	0.10	0.90	1.40	0.05	0.27	81	226	21	54	33	56	22
AB-060	2.70	3.69	0.07	0.88	1.13	0.04	0.30	90	117	17	40	53	59	13
AB-061	2.11	3.52	0.06	0.73	1.13	0.04	0.06	108	107	21	35	46	49	<5
AB-062	1.68	3.98	0.03	0.32	0.17	0.03	0.27	47	142	9	32	387	126	>200
AB-063	2.55	3.55	0.06	0.90	0.93	0.04	0.15	84	187	18	60	61	69	40
AB-064	1.18	4.56	0.01	0.14	0.05	0.01	0.30	17	98	6	14	676	231	>2000
AB-065	3.24	4.17	0.03	1.07	0.47	0.03	0.22	93	244	23	113	70	98	80
AB-066	2.49	5.21	0.05	0.27	0.08	0.02	0.21	79	87	17	33	91	134	467
AB-067	3.77	3.69	0.04	0.73	0.20	0.02	0.60	65	114	13	30	35	104	16
AB-068	2.57	2.35	0.04	0.56	0.60	0.04	0.12	51	47	10	12	26	38	13
AB-069	1.03	3.07	0.01	0.10	0.05	0.01	0.28	22	103	6	14	544	46	1979
AB-070	2.74	3.31	0.04	0.19	0.10	0.02	0.25	65	78	8	18	27	42	32
AB-071	1.94	3.24	0.07	0.52	0.48	0.03	0.18	65	167	18	55	51	83	20
AB-072	3.34	4.48	0.22	0.59	0.44	0.05	0.33	85	210	24	61	81	106	25
AB-073	1.88	3.87	0.17	1.09	0.24	0.03	0.33	58	537	25	212	32	59	13
AB-074	2.84	4.29	0.14	0.41	0.50	0.07	0.27	98	108	17	46	53	81	<5
AB-075	1.56	2.03	0.03	0.57	0.63	0.07	0.16	49	124	7	13	53	47	100
AB-076	2.58	2.80	0.05	0.62	0.54	0.05	0.25	61	100	14	15	220	292	1150
AB-077	2.20	2.83	0.09	0.41	0.50	0.04	0.27	53	127	13	15	295	205	>2000
AB-078	1.51	1.86	0.03	0.30	0.39	0.04	0.19	39	154	6	12	19	39	49
AB-079	1.92	3.96	0.07	1.34	0.43	0.09	0.33	76	190	19	35	23	69	<5
AB-080	1.76	3.36	0.04	1.76	0.43	0.08	0.13	65	97	19	45	40	78	<5
AB-081	1.85	2.70	0.08	1.34	0.32	0.08	0.39	44	143	14	24	17	65	<5
AB-082	2.67	4.70	0.35	1.33	0.33	0.08	0.54	72	279	18	33	27	76	<5
AB-083	2.39	4.29	0.11	1.51	0.28	0.07	0.54	85	150	17	29	32	89	<5
AB-084	2.31	3.86	0.07	2.67	1.57	0.15	0.20	100	147	28	61	44	71	7
AB-085	0.87	2.35	0.01	0.27	0.07	0.06	0.21	27	130	5	15	18	67	5
AB-086	2.18	4.05	0.04	1.56	0.27	0.08	0.22	64	145	19	63	72	145	98
AB-087	1.33	3.68	0.02	0.38	0.10	0.08	0.26	54	121	9	23	30	82	<5
AB-088	1.15	1.37	0.02	0.64	0.21	0.09	0.27	19	193	5	16	8	34	<5
AB-089	1.28	1.09	0.01	0.51	0.13	0.14	0.49	14	231	3	13	7	22	<5
AB-090	2.48	3.50	0.05	2.19	0.67	0.11	0.18	72	149	18	61	37	73	<5
AB-091	2.67	2.88	0.05	2.06	0.36	0.09	0.27	57	163	14	40	32	71	17
AB-092	2.63	2.98	0.04	2.35	0.38	0.11	0.32	59	269	15	85	31	70	<5
AB-093	1.65	2.97	0.06	1.25	0.68	0.10	0.09	63	165	20	41	40	59	28
AB-094	1.49	2.32	0.02	0.84	0.18	0.07	0.26	33	196	9	32	20	51	10
AB-095	2.35	3.33	0.05	1.36	0.43	0.11	0.23	85	186	13	26	22	50	<5
AB-096	1.76	2.40	0.04	0.73	0.08	0.03	0.30	33	181	7	18	15	16	7
AB-097	4.04	4.67	0.05	1.13	0.12	0.02	0.39	74	132	15	26	35	140	15
AB-098	1.09	1.80	0.05	0.51	0.17	0.05	0.29	19	290	6	17	10	13	7
AB-099	1.18	1.60	0.04	0.68	0.01	0.03	0.39	18	141	7	15	9	19	10
AB-100	0.75	1.34	0.03	0.37	0.03	0.02	0.21	14	68	5	10	8	13	<5
AB-101	1.84	2.33	0.04	0.97	0.08	0.05	0.48	27	257	9	21	13	58	<5
AB-102	2.24	3.90	0.06	1.01	0.69	0.07	0.29	100	208	13	22	33	118	22
AB-103	3.01	4.68	0.11	1.90	0.60	0.06	0.50	96	139	20	27	41	110	30
AB-104	3.29	2.65	0.06	1.59	0.60	0.11	0.49	38	187	8	19	17	119	17
AB-105	2.04	2.39	0.04	0.81	0.21	0.03	0.28	43	185	7	19	12	112	17
AB-106	1.20	2.08	0.04	0.33	0.15	0.03	0.41	26	139	5	13	12	38	<5
AB-107	1.57	2.43	0.04	0.41	0.08	0.03	0.53	29	186	6	16	12	45	<5
AB-108	1.53	2.78	0.04	0.24	0.12	0.02	0.33	41	192	6	17	17	44	<5
AB-109	2.90	4.32	0.07	0.42	0.21	0.02	0.43	74	110	12	24	33	72	<5
AB-110	4.10	4.92	0.07	0.75	0.22	0.03	0.54	81	119	18	36	41	105	<5

Tabla 11. Geoquímica de las muestras de sedimentos fluviales. *Continuación*

Muestra	Sr PPM	Y PPM	Mo PPM	Ag PPM	Cd PPM	Sn PPM	Sb PPM	Te PPM	Ba PPM	La PPM	W PPM	Pb PPM	Bi PPM	Au PPB
AB-056	35	24	1	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	74	54	<20	6	<5	24
AB-057	23	20	3	<0.2	<0.2	<20	7	<10	119	50	<20	9	<5	<5
AB-058	18	20	2	<0.2	<0.2	<20	7	<10	154	64	<20	13	<5	<5
AB-059	28	15	3	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	154	33	<20	8	<5	<5
AB-060	25	28	<10	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	124	91	<20	16	<5	113
AB-061	24	12	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	54	3	<20	5	<5	36
AB-062	16	8	<10	4.8	<1.0	<20	51	28	107	26	<20	153	57	3558
AB-063	24	10	<10	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	85	11	<20	8	<5	40
AB-064	11	8	<10	9.0	<1.0	<20	93	43	105	34	<20	296	104	7166
AB-065	18	10	<10	<0.2	<1.0	<20	147	<10	146	16	<20	22	<5	184
AB-066	9	12	<10	1.8	<1.0	<20	286	<10	85	24	<20	123	<5	249
AB-067	25	14	<10	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	170	28	<20	19	<5	7
AB-068	20	11	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	116	11	<20	12	<5	11
AB-069	8	6	<10	9.5	<1.0	21	59	47	107	31	<20	153	87	5133
AB-070	11	8	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	80	31	<20	21	<5	34
AB-071	23	9	<10	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	140	14	<20	11	<5	37
AB-072	23	12	<10	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	239	25	<20	18	<5	16
AB-073	17	8	<10	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	131	24	<20	13	<5	7
AB-074	28	14	<10	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	121	23	<20	15	<5	10
AB-075	23	7	<10	1.9	<1.0	<20	<5	<10	66	16	<20	21	<5	283
AB-076	24	9	<10	1.5	<1.0	<20	6	<10	103	13	<20	128	8	1069
AB-077	30	10	<10	2.9	<1.0	<20	6	<10	122	16	<20	251	17	2895
AB-078	21	7	<10	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	83	14	<20	18	<5	56
AB-079	16	38	4	0.2	<0.2	<20	<5	<10	136	244	<20	10	<5	<5
AB-080	14	6	5	0.2	0.5	<20	<5	<10	68	9	<20	8	<5	20
AB-081	16	11	4	0.2	0.8	<20	<5	<10	130	30	<20	14	<5	<5
AB-082	24	19	5	0.3	0.3	<20	<5	<10	329	85	<20	14	5	10
AB-083	19	20	4	0.2	<0.2	<20	<5	<10	196	85	<20	16	<5	<5
AB-084	21	12	2	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	75	12	<20	<2	<5	10
AB-085	12	4	4	0.3	0.7	<20	<5	<10	62	20	<20	9	<5	116
AB-086	16	10	5	0.7	1.4	<20	5	<10	98	18	<20	30	8	416
AB-087	16	8	3	0.3	1.2	<20	<5	<10	84	29	<20	11	<5	<5
AB-088	16	6	4	<0.2	0.3	<20	<5	<10	77	11	<20	8	<5	38
AB-089	13	4	6	<0.2	<0.2	<20	<5	<10	101	11	<20	7	<5	<5
AB-090	22	9	6	0.3	<0.2	<20	<5	<10	98	14	<20	5	<5	<5
AB-091	21	6	5	0.2	0.5	<20	<5	<10	137	16	<20	16	<5	51
AB-092	23	10	8	<0.2	0.7	25	<5	<10	156	40	<20	15	<5	13
AB-093	21	7	8	0.4	0.7	<20	<5	<10	72	9	<20	16	<5	57
AB-094	12	10	4	0.7	1.1	<20	<5	<10	92	41	<20	18	<5	1560
AB-095	25	7	7	0.3	0.3	<20	<5	<10	115	17	<20	14	<5	425
AB-096	9	9	4	<0.2	0.4	22	9	<10	81	38	<20	19	<5	10
AB-097	13	22	3	0.3	1.4	25	17	<10	131	100	<20	30	<5	50
AB-098	9	7	5	0.3	<0.2	<20	6	<10	78	17	<20	13	<5	<5
AB-099	6	6	3	<0.2	0.8	<20	7	<10	77	19	<20	18	<5	12
AB-100	4	5	2	0.3	0.4	<20	<5	<10	50	20	<20	15	<5	8
AB-101	10	9	6	0.2	0.5	26	8	<10	104	30	<20	17	<5	<5
AB-102	43	9	8	0.6	2.2	<20	18	<10	173	12	<20	22	<5	13
AB-103	27	29	3	0.7	1.5	<20	21	<10	178	105	<20	44	<5	110
AB-104	30	18	3	0.4	1.1	<20	15	<10	104	52	<20	48	<5	30
AB-105	13	10	4	0.4	0.9	<20	12	<10	85	29	<20	40	<5	70
AB-106	11	37	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	89	117	<20	2	<5	<5
AB-107	12	15	1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	107	68	<20	<2	<5	<5
AB-108	14	33	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	138	260	<20	7	<5	<5
AB-109	19	30	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	208	134	<20	17	<5	<5
AB-110	22	31	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	271	93	<20	18	<5	<5

Tabla 11. Geoquímica de las muestras de sedimentos fluviales. *Continuación*

Muestra	Al PCT	FeTot PCT	Mn PCT	Mg PCT	Ca PCT	Na PCT	K PCT	V PPM	Cr PPM	Co PPM	Ni PPM	Cu PPM	Zn PPM	As PPM
AB-111	1.84	2.80	0.05	0.63	1.44	0.06	0.21	67	150	12	26	20	38	<5
AB-112	1.78	2.79	0.05	0.41	0.54	0.05	0.43	45	205	7	20	17	49	<5
AB-113	2.50	3.34	0.06	0.53	0.70	0.05	0.52	54	202	19	10	18	65	<5
AB-114	1.22	9.25	0.12	5.88	0.42	0.02	0.04	77	1820	164	1696	13	74	<5
AB-115	Sin muestra fluvial													
AB-116	2.16	1.77	0.03	0.57	0.31	0.05	0.28	55	69	8	16	15	68	27
AB-117	1.98	2.21	0.03	0.48	0.12	0.02	0.45	79	131	7	19	22	60	<5
AB-118	1.56	1.93	0.03	0.27	0.04	0.02	0.36	43	197	6	19	20	59	19
AB-119	3.22	2.19	0.04	0.63	0.16	0.04	0.48	64	151	11	30	31	76	24
AB-120	2.10	2.58	0.03	0.29	0.07	0.03	0.32	68	162	12	32	37	88	<5
AB-121	2.24	2.45	0.03	0.42	0.15	0.06	0.40	65	190	9	30	43	85	18
AB-122	2.41	2.10	0.04	0.63	0.31	0.04	0.46	60	131	9	28	32	62	<5
AB-123	2.36	2.40	0.05	0.57	0.18	0.03	0.51	83	98	12	24	37	83	<5
AB-124	3.46	2.11	0.05	1.03	0.66	0.05	0.25	72	160	14	42	51	67	36
AB-125	3.65	2.50	0.07	1.23	0.30	0.02	0.32	96	193	16	39	43	94	<5
AB-126	2.05	1.41	0.03	0.67	0.33	0.05	0.24	50	143	9	23	28	40	40
AB-127	2.71	1.80	0.03	0.86	0.39	0.06	0.29	61	160	11	33	34	53	18
AB-128	2.45	1.72	0.02	0.22	0.05	<0.01	0.16	56	106	4	18	25	49	12
AB-129	3.54	2.11	0.04	0.80	0.25	0.04	0.44	71	132	12	38	48	59	53
AB-130	3.05	2.39	0.06	1.17	0.24	0.03	0.30	66	187	18	81	47	87	33
AB-131	4.02	3.04	0.08	1.66	1.08	0.15	0.13	121	145	30	95	110	58	<5
AB-132	3.36	2.41	0.06	0.88	0.25	0.04	0.56	70	135	15	48	54	76	10
AB-133	3.31	2.40	0.05	0.92	0.25	0.04	0.60	68	150	14	52	45	76	47
AB-134	3.35	2.77	0.05	0.78	0.19	0.03	0.47	83	144	15	51	57	101	37
AB-135	2.43	2.44	0.03	0.73	0.12	0.04	0.38	69	190	18	76	52	81	7
AB-136	2.93	2.50	0.04	0.55	0.06	0.02	0.75	63	135	10	29	28	104	31
AB-137	2.56	2.42	0.03	0.63	0.10	0.03	0.58	65	192	11	44	36	88	34
AB-138	2.59	2.00	0.03	0.55	0.18	0.04	0.43	57	187	11	31	30	50	8
AB-139	2.92	2.08	0.05	0.71	0.34	0.08	0.57	63	226	10	32	30	51	<5
AB-140	3.20	3.32	0.05	0.88	0.50	0.06	0.34	80	129	11	16	22	63	51
AB-141	3.21	2.59	0.04	0.64	0.49	0.13	0.36	92	98	10	17	29	53	9
AB-142	3.66	2.61	0.04	0.83	0.27	0.04	0.55	61	168	10	28	28	66	9
AB-143	2.42	2.82	0.04	0.63	0.14	0.04	0.54	51	184	8	24	25	66	8
AB-144	4.59	2.76	0.04	0.91	0.30	0.04	0.37	75	186	12	33	26	90	11
AB-145	2.37	2.83	0.04	0.40	0.10	0.03	0.54	41	231	8	19	22	61	11
AB-146	2.05	2.85	0.04	0.47	0.16	0.02	0.41	83	155	10	27	27	89	10
AB-147	1.25	2.78	0.06	0.20	0.11	0.01	0.23	35	76	10	20	21	45	34
AB-148	1.68	2.59	0.04	0.42	0.11	0.02	0.37	46	79	9	18	22	58	12
AB-149	1.71	3.10	0.05	0.46	0.14	0.02	0.40	69	126	12	25	29	66	11
AB-150	1.54	2.64	0.07	0.31	0.16	0.03	0.38	45	250	10	20	22	47	7
AB-151	2.85	4.20	0.05	0.50	0.24	0.06	0.17	85	68	14	17	30	58	15
AB-152	2.51	3.04	0.05	0.53	0.38	0.06	0.24	54	55	10	12	16	63	23
AB-153	3.09	2.41	0.03	0.74	1.02	0.25	0.27	76	147	10	19	31	51	19
AB-154	2.44	2.86	0.04	0.83	0.46	0.06	0.38	73	96	13	31	41	51	20
AB-155	2.58	7.05	0.05	0.80	0.36	0.06	0.22	175	136	18	10	28	90	27
AB-156	2.44	3.21	0.05	0.52	0.10	0.04	0.47	59	265	11	16	14	59	20
AB-157	2.40	4.25	0.06	0.51	0.10	0.02	0.38	102	254	12	16	15	62	27
AB-158	2.62	4.71	0.05	0.79	0.23	0.05	0.43	113	204	13	16	19	65	18
AB-159	1.99	2.41	0.04	0.39	0.11	0.04	0.39	36	354	9	17	14	49	14
AB-160	3.04	2.59	0.04	0.64	0.08	0.01	0.42	33	140	11	19	14	71	44
AB-161	2.58	2.76	0.04	0.64	0.18	0.02	0.34	45	146	10	16	15	65	40
AB-162	3.25	3.28	0.04	0.74	0.12	0.02	0.43	43	150	12	23	21	88	48
AB-163	1.50	1.80	0.04	0.21	0.13	0.02	0.41	15	193	8	12	9	112	<5
AB-164	1.46	1.85	0.04	0.39	0.10	0.01	0.29	18	106	9	14	10	49	6
AB-165	1.20	1.52	0.04	0.14	0.05	0.01	0.25	18	168	6	10	10	39	15

Tabla 11. Geoquímica de las muestras de sedimentos fluviales. *Continuación*

Muestra	Sr PPM	Y PPM	Mo PPM	Ag PPM	Cd PPM	Sn PPM	Sb PPM	Te PPM	Ba PPM	La PPM	W PPM	Pb PPM	Bi PPM	Au PPB
AB-111	27	31	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	85	169	<20	>2	<5	<5
AB-112	21	64	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	143	432	<20	6	<5	<5
AB-113	27	56	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	162	290	<20	11	<5	<5
AB-114	8	5	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	39	<1	<20	10	10	<5
AB-115							Sin muestra fluvial							
AB-116	24	5	1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	93	11	<20	8	<5	<5
AB-117	9	16	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	99	66	<20	6	<5	77
AB-118	8	29	4	<0.2	<1.0	<20	6	<10	113	161	<20	11	<5	<5
AB-119	13	12	3	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	150	51	<20	17	<5	7
AB-120	13	17	3	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	146	86	<20	10	<5	<5
AB-121	11	17	4	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	148	78	<20	11	<5	<5
AB-122	19	44	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	158	233	<20	8	<5	30
AB-123	11	9	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	148	18	<20	4	<5	<5
AB-124	37	9	1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	133	10	<20	15	<5	27
AB-125	27	8	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	201	18	<20	19	<5	94
AB-126	22	5	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	103	10	<20	14	<5	<5
AB-127	25	6	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	167	22	<20	15	<5	<5
AB-128	5	4	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	60	16	<20	11	<5	13
AB-129	23	7	3	<0.2	<1.0	<20	9	<10	195	25	<20	18	6	23
AB-130	22	6	1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	128	14	<20	16	<5	6
AB-131	29	11	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	33	2	<20	<2	7	6
AB-132	20	10	1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	149	25	<20	8	<5	6
AB-133	19	9	3	<0.2	<1.0	<20	9	<10	151	27	<20	16	9	7
AB-134	18	7	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	162	18	<20	8	<5	7
AB-135	17	10	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	144	48	<20	8	<5	<5
AB-136	11	11	4	<0.2	<1.0	<20	7	<10	187	56	<20	18	5	<5
AB-137	13	13	5	<0.2	<1.0	<20	12	<10	159	65	<20	17	7	<5
AB-138	21	17	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	216	103	<20	9	<5	13
AB-139	32	11	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	252	59	<20	7	<5	14
AB-140	35	12	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	124	27	<20	19	<5	32
AB-141	51	9	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	140	21	<20	12	<5	<5
AB-142	23	12	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	156	39	<20	16	<5	<5
AB-143	11	13	1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	122	38	<20	12	<5	29
AB-144	24	9	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	192	20	<20	20	<5	<5
AB-145	16	8	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	144	25	<20	12	<5	<5
AB-146	14	9	1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	133	11	<20	10	<5	<5
AB-147	15	5	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	99	14	<20	14	<5	34
AB-148	13	8	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	112	16	<20	12	<5	<5
AB-149	11	9	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	100	12	<20	11	<5	<5
AB-150	14	7	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	127	12	<20	12	<5	<5
AB-151	25	9	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	89	22	<20	17	<5	<5
AB-152	34	8	<1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	177	14	<20	16	<5	<5
AB-153	85	5	1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	122	10	<20	18	<5	15
AB-154	22	9	1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	120	13	<20	11	<5	8
AB-155	32	5	5	0.5	<1.0	<20	<5	<10	87	30	<20	20	6	<5
AB-156	13	13	3	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	121	57	<20	15	<5	<5
AB-157	12	16	5	0.3	<1.0	<20	<5	<10	99	79	<20	16	6	<5
AB-158	16	11	5	0.3	<1.0	<20	<5	<10	100	42	<20	11	<5	<5
AB-159	11	8	4	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	95	35	<20	13	<5	<5
AB-160	11	24	2	0.2	<1.0	<20	<5	<10	110	124	<20	13	<5	<5
AB-161	13	21	3	0.3	<1.0	<20	<5	<10	99	93	<20	12	<5	<5
AB-162	13	19	4	0.2	<1.0	<20	<5	<10	119	89	<20	14	<5	<5
AB-163	14	5	2	0.2	<1.0	<20	<5	<10	96	27	<20	27	<5	<5
AB-164	8	5	1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	67	30	<20	13	<5	<5
AB-165	5	5	3	0.4	<1.0	<20	<5	<10	118	26	<20	22	<5	<5

Tabla 11. Geoquímica de las muestras de sedimentos fluviales. *Continuación*

Muestra	Al PCT	FeTot PCT	Mn PCT	Mg PCT	Ca PCT	Na PCT	K PCT	V PPM	Cr PPM	Co PPM	Ni PPM	Cu PPM	Zn PPM	As PPM
AB-166	2.04	2.50	0.03	0.38	0.02	0.01	0.37	26	111	10	17	15	64	9
AB-167	3.05	5.59	0.06	0.85	0.30	0.07	0.35	162	251	16	16	18	71	44
AB-168	1.17	1.41	0.03	0.17	0.05	0.02	0.24	20	158	6	9	7	36	12
AB-169	0.43	0.92	0.02	0.08	0.02	0.01	0.11	11	156	3	7	3	12	<5
AB-170	1.33	1.89	0.09	0.30	0.09	0.03	0.39	26	177	7	15	9	34	7
AB-171	1.70	2.46	0.07	0.49	0.09	0.02	0.56	32	175	10	20	12	44	15
AB-172	2.41	2.98	0.05	0.57	0.17	0.05	0.70	47	190	10	22	18	56	16
AB-173	2.40	3.78	0.06	0.75	0.18	0.03	0.60	54	64	13	21	19	79	29

Cobre, plomo, zinc, cadmio y bario

Los análisis de cobre varían desde valores menores que 10ppm, en pocas muestras, hasta un máximo de 8067ppm (AB2) y 2629ppm (AB3) en los Ríos Vivar y Mollepungu. En general, los valores de cobre son menores que 60ppm, las concentraciones más altas se encuentran en las áreas de Cerro Pelado (AB62, AB63, AB64, AB65, AB66 y AB69, 61-676ppm) y de Cerro Los Cangrejos (AB76 y AB77, 220-295ppm). Los siguientes ríos también contienen valores de cobre mayores que 60ppm: Río Colorado (AB16, 187ppm); Estero San Antonio (AB131, 110ppm) (ver también AB124, AB125, AB129, AB130, AB132, AB133 y AB134); Río Santa Rosa (AB86, 72ppm); un tributario innominado del Río Santa Rosa (AB72, 81ppm) (ver también AB71 y AB74); Río Dumari (AB14, 75ppm) (ver también AB13) y un tributario innominado del Río Daucay (AB15, 62ppm).

Los valores más altos de plomo fueron obtenidos de las áreas de Cerro Pelado (AB62, AB64, AB66 y AB69, 123-296ppm) y de Cerro Los Cangrejos (AB76 y AB77, 128-251ppm). Valores anómalos de plomo fueron registrados en los Ríos Vivar y Mollepungu (AB2 y AB3 117-89ppm) y en la Quebrada del Batén (AB49, 157ppm). Menores cantidades de plomo (>25ppm) fueron encontradas en los siguientes ríos: Quebrada Santa Martha (AB1, 57ppm – se encuentra fuera del área cubierta por la Figura 32, ver Tabla 10 para la ubicación); Río Dumari (AB14, 44ppm); Río El Ari (AB52, 35ppm); Quebrada Chontas (AB54, 26ppm); Río Santa Rosa (AB86, 30ppm); Quebrada Limoncillo (AB97, 30ppm); Quebrada El Salado (AB103, 44ppm); Quebrada Chaupi (AB104, 48ppm); Quebrada El Belén (AB105, 40ppm); Quebrada del Sharve (AB163, 27ppm) y Quebrada San Joaquín (AB167, 41ppm).

Los análisis de zinc varían entre 12 y 292ppm, pero la distribución de los valores más altos (>100ppm) parece estar más dispersa que la de otros elementos considerados. En las áreas de Cerro Pelado y de Cerro Los Cangrejos los valores varían desde 104 a 231ppm (AB62, AB64, AB66 y AB67) y 292 a 205ppm (AB76 y AB77) respectivamente; se registró 107ppm en el Río Vivar (AB2). En el sureste, el Río Yaguachi, la Quebrada Chaupi y Quebrada El Belén (AB102, AB104 y AB105) contienen más de 110ppm de zinc.

Los siguientes ríos también contienen más de 100ppm de zinc: Quebrada del Trapiche (AB47, 119ppm); Río El Ari (AB52, 122ppm); Quebrada de La Concha (AB53, 225ppm – se encuentra fuera del área cubierta por la Figura 32, ver Tabla 10 para la ubicación); un tributario innominado del Río Santa Rosa (AB72, 106ppm); Río Santa Rosa (AB86, 145ppm); Quebrada Limoncillo (AB97, 140ppm); Quebrada El Salado (AB103, 110ppm); un tributario innominado de la Quebrada Bruno (AB110, 105ppm); un tributario innominado del Estero San Antonio (AB134, 101ppm); un tributario innominado del Río Quera (AB136, 104ppm) y la Quebrada del Sharve (AB163, 112ppm).

Generalmente, los valores de cadmio son menores que 1ppm (o <0.2ppm) (límites de detección) y el valor más alto registrado es 2.2 ppm (AB102) del Río Yaguachi.

Los análisis de bario tienen valores entre 33 y 329ppm. Los siguientes ríos tienen valores mayores que 200 ppm: Río Muyuyacu (AB4, 267ppm); Río Huizho (AB11, 204ppm); un tributario innominado del Río Santa Rosa (AB72, 239ppm); Quebrada de Cañas (AB82, 329ppm); tributarios innominados de la Quebrada Bruno (AB109 y AB110, 208-271ppm); Río Colorado (AB125, 201ppm) y tributarios innominados del Río Quera (AB138 y AB139, 216-252ppm).

Cromo, níquel, cobalto y vanadio

Los valores de cromo varían entre 31 y 1820ppm y los dos valores más altos, 1820ppm (AB114) y 537ppm (AB73), están relacionados espacialmente con cuerpos de serpentinita en la división mélange Palenque. En el norte, varias muestras recolectadas de ríos que drenan estas rocas tienen valores mayores que 250ppm (AB6, AB7, AB10, AB21, AB92 y AB150). Sin embargo, es quizá sorprendente que valores altos de cromo también fueron obtenidos de los siguientes drenajes asociados con la división Tahuín y/o el complejo granitoide Moromoro: Quebrada Los Zábalos (AB31, 378ppm y AB32, 353ppm); un tributario innominado del Río Puyango (AB34, 266ppm); Río Zaracay (AB36, 281ppm y AB41, 269ppm); Quebrada Primavera (AB38, 396ppm); Quebrada Valle Hermoso (AB39, 342ppm); Quebrada El Duende (AB98, 290ppm) y Quebrada de Ñalacapa (AB101, 257ppm). En el sureste, valores de cromo mayores que 250ppm también fueron registrados en las partes altas del Río Ambocas (AB156, AB157 y AB159) y en la Quebrada San Joaquín (AB167).

Tabla 11. Geoquímica de las muestras de sedimentos fluviales. *Continuación*

Muestra	Sr PPM	Y PPM	Mo PPM	Ag PPM	Cd PPM	Sn PPM	Sb PPM	Te PPM	Ba PPM	La PPM	W PPM	Pb PPM	Bi PPM	Au PPB
AB-166	6	6	3	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	87	38	<20	14	<5	<5
AB-167	25	7	4	0.7	<1.0	<20	<5	<10	94	30	<20	41	<5	<5
AB-168	5	4	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	61	25	<20	12	<5	<5
AB-169	3	3	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	33	14	<20	4	<5	<5
AB-170	15	16	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	103	64	<20	9	<5	<5
AB-171	16	8	2	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	115	24	<20	11	<5	<5
AB-172	18	28	3	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	150	93	<20	15	<5	<5
AB-173	22	19	1	<0.2	<1.0	<20	<5	<10	148	33	<20	18	<5	<5

Los valores de níquel varían entre 6 y 1696ppm, pero pocas muestras tienen un contenido mayor que 100ppm. Los valores más altos de níquel, 1696ppm (AB114) y 212ppm (AB73) están relacionados con cuerpos de serpentinita en la división mélange Palenque (ver también posiblemente AB92 y AB131). Sin embargo, el valor de 133ppm obtenido de la muestra AB65 podría indicar mineralización en el área de Cerro Pelado.

Se ha obtenido valores de cobalto de 164ppm y 53ppm de la Quebrada del Verde y del Río Mollepungu (AB114 y AB3) respectivamente. Las demás muestras contienen 30ppm (AB131), o menos, de este elemento.

Los análisis de vanadio fueron bastante variables, con un máximo de 348ppm, los siguientes ríos contienen valores mayores que 150ppm: Quebrada Las Pavas (AB13, 157ppm); Río Dumari (AB14, 348ppm); Río Chilola (AB17, 150ppm); Quebrada Cerro Azul (AB18, 322ppm); Río Naranjo (AB155, 175ppm) y Quebrada San Joaquín (AB167, 162ppm).

Molibdeno, estaño y tungsteno

Gran parte de los análisis de molibdeno son menores que 10ppm (límite de detección) a excepción de las muestras AB2 (74ppm) y AB3 (128ppm) recolectadas de los Ríos Vivar y Mollepungu.

La mayoría de análisis de estaño son menores que 20ppm (límite de detección). Las muestras AB69, AB92, AB96, AB97 y AB101 entregaron valores entre 21 y 26ppm.

Casi todos los análisis de tungsteno son menores que 20ppm (límite de detección) a excepción de la muestra AB3 (405ppm) del Río Mollepungu.

Lantano e itrio

Los análisis de lantano varían entre menor que 1 y 432ppm. Todos los valores altos (>100ppm) parecen estar relacionados con los granitoides del complejo metamórfico El Oro y posiblemente reflejan la presencia de un mineral enriquecido en tierras raras, como la monacita, en estas rocas.

En el sureste, los siguientes ríos, que drenan el complejo granitoide Moromoro, han alcanzado valores de lantano mayores que 100ppm: Quebrada Guayacán (AB42, 138ppm); Quebrada San Luis (AB43, 110ppm); Quebrada La Garganta (AB79, 244ppm); Quebrada El Guarumo (AB106, 117ppm); Quebrada Bruno y tributario (AB108, AB109, 260-134ppm); Quebrada Tahuín Chico (AB111, 169ppm); Quebrada Canoas (AB112, 432ppm) y Quebrada Cañas (AB113, 290ppm) (ver también en el suroeste AB97, AB103 y AB160). En el noreste los siguientes ríos, que drenan la unidad granitoide Quera Chico de la división mélange Palenque, también tienen valores de lantano mayores que 100ppm: Río Casacay y tributario (AB10, AB118, 146 a 161ppm); Río Dumari (AB122, 233ppm) y un tributario innominado del Río Quera (AB138, 103ppm).

Los valores de itrio varían desde 3 a 64ppm y, al igual que el lantano, la mayoría de valores altos (>20 ppm) parecen estar asociados con los granitoides del complejo metamórfico El Oro. En el sur, los siguientes ríos, que drenan el complejo granitoide Moromoro, tienen valores de itrio mayores que 25ppm: Quebrada Guayacán (AB42, 32ppm); Quebrada San Luis (AB43, 29ppm); Quebrada Platanillo (AB60, 28ppm); Quebrada La Garganta (AB79, 38ppm); Quebrada El Salado (AB103, 29ppm); Quebrada El Guarumo (AB106, 37ppm); Quebrada Bruno y tributarios (AB108, AB109 y AB110, 30-33ppm); Quebrada Tahuín Chico (AB111, 31ppm); Quebrada Canoas (AB112, 64ppm); Quebrada Cañas (AB113, 56ppm) y Quebrada Palmales (AB172, 28ppm). En el noreste, los siguientes ríos que drenan la unidad granitoide Quera Chico de la división mélange Palenque, también tienen valores de itrio mayores que 25ppm: Río Casacay y tributario (AB10 y AB118, 35-29ppm) y el Río Dumari (AB122, 44ppm).

Aunque quizá de importancia económica limitada, los valores altos de lantano e itrio en las unidades Quera Chico y La Bocana son de interés pues sugieren una correlación geoquímica entre estas unidades, lo que respalda las deducciones hechas en este reporte.

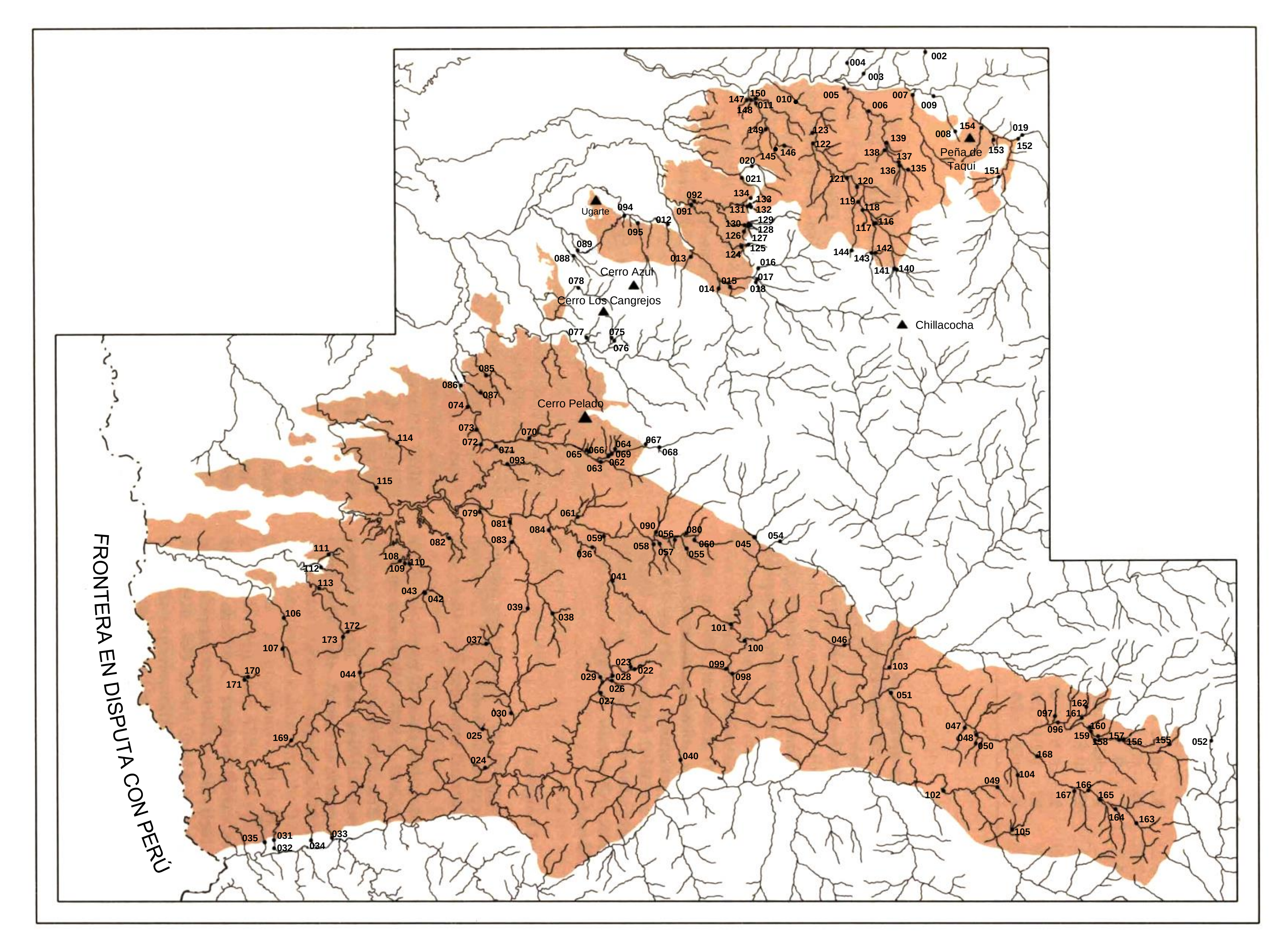


Figura 32. Mapa de ubicación de las muestras de sedimentos fluviales

REFERENCIAS

La mayoría de las referencias enlistadas a continuación se encuentran en la Librería del Servicio Geológico Británico (BGS) en Keyworth, Nottingham. Se puede comprar copias de éstas, sujetas a la presente normativa de derechos de autor.

ALMEIDA E. (1977) Límite inferior de metamorfismo del Grupo Tahuín, Provincia de El Oro. Tesis no publicada, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 126 pp. (unpublished).

ASPDEN J.A., FORTEY N., LITHERLAND M., VITER F. and HARRISON S.M. (1992a) Regional S-type granites in the Ecuadorian Andes: possible remnants of the breakup of western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences,* Vol. 6, No.3, 123-132.

ASPDEN J.A., HARRISON S.M. and RUNDLE C.C. (1992) New geochronological control for the tectono-magmatic evolution of the metamorphic basement, Cordillera Real and the El Oro Province of Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences,* Vol. 6, 112, 77-96.

ASPDEN J.A. and LITHERLAND M. (1992) The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *In* Andean geodynamics. OLIVER R.A., VATIN-PERIGNON N. and LAUBACHER G. (editors) *Tectonophysics,* Vol. 205, 187-204.

ASPDEN J.A., LITHERLAND M., DUQUE P., SALAZAR E., BERMÚDEZ R., and VITERI F. (1987) Un nuevo cinturón ofiolítico en la Cordillera Real, Ecuador, y su posible significación regional. *Politécnica (Quito), Monografía de Geología,* Vol. XII, No. 2, 81-94.

ASPDEN J.A., LITHERLAND M. and SALAZAR E. (1988) Una interpretación preliminar de la historia colisional del centro y sur del Ecuador y posibles controles para la geología cenozoica y de mineralización polimetálicas. *Politécnica (Quito), Monografía de geología,* Vol. XII, No. 3, 49-76.

ASPDEN J.A., and McCOURT W.J. (1986) A Mesozoic oceanic terrane in the Central Andes of Colombia. *Geology,* Vol. 14, 415-418.

ASPDEN J.A., McCOURT W.J. and BROOK M. (1987a) Geometrical control of subduction-related magmatism: the Mesozoic and Cenozoic plutonic history of Western Colombia. *Journal of the Geological Society of London,* Vol. 144, 893-905.

BALDOCK J.W. (1982) Geología del Ecuador. Boletín de la Explicación del Mapa Geológico (1:1000000) de la República del Ecuador. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas, Quito, Ecuador, 54pp.

BERTHÉ D., CHOUKRONE P. and JEGOUZO P. (1979) Orthogneiss, mylonite and non-coaxial deformation of granites, the example of the South American Shear Zone. *Journal of Structural Geology,* Vol. 4, 31-42.

BILLINGSLEY P. (1926) Geology of the Zaruma Gold District of Ecuador. *Transactions of the American Institute of Mining Engineers,* Vol. 74, 255-277

CASTRO A., MORENO-VENTAS I. and DE LA ROSA J.D. (1991) H-type (hybrid) granitoid: a proposed revision of the granite-type classification and nomenclature. *Earth Science Review,* Vol. 31, 237-253.

CHAPPELL B.W. and WHITE A.J.R. (1974) Two contrasting granite types. *Pacific Geology,* Vol. 8, 173-174.

COBBING E.J., PITCHER W.S., WILSON J.J., BALDOCK J.W., TAYLOR W.P., McCOURT J.W. and SNELLING J.T. (1981) The geology of the Western Cordillera of northern Perú. *Overseas Memoir of the Institute of Geological Sciences,* No. 5, 143 pp.

CROWELL J.C. (1979) The San Andres fault system through time. *Journal of the Geological Society of London,* Vol. 136, 293-302.

DALY M.C. (1989) Correlation between Nazca-Farallón plate kinematics and forearc basin evolution in Ecuador. *Tectonics,* Vol. 8, No. 4, 769-790.

D' LEMOS R.S., BROWN M. and STRACHAN R.A. (1992) Granite magma generation, ascent and emplacement within a transpressional orogen. *Journal of the Geological Society of London,* Vol. 149, 487-490.

DUQUE P. (1993) Metamorphic history and structure of the El Oro ophiolitic complex, Ecuador. Andean Geodynamics, ORSTOM/University of Oxford, Oxford 21-23 Sept 1993, Extended Abstracts volume, 359-362.

DUQUE P. (1992) Condiciones de formación de las rocas metamórficas de alta presión de la Formación Raspas. *Boletín Geológico Ecuatoriano,* Vol. 3, No. 1, 63-78.

DUQUE P. (1975) Petrogénesis de unas rocas metamórficas de alta presión en la Provincia de El Oro. Tesis inédita, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 66pp. (unpublished).

DUQUE P. and FEININGER T. (1974) Eclogitas y esquistos azules de la Provincia de El Oro, Ecuador. Memorias Simposio sobre ofiolitas. Universidad Nacional Medellín, Colombia, 35-38 (abstract).

EWART A. (1982) The mineralogy and petrology of Tertiary-Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic-basaltic compositional range. 25-87 in *Andesites.* THORPE, R.S. (editor). (New York: John Wiley and Sons).

FEININGER T. (1987) Allochthonous terranes in the Andes of Ecuador and northwestern Perú. *Canadian Journal of Earth Sciences,* Vol. 24, No. 2, 266-278.

FEININGER T. (1982) Glaucophane schist in the Andes at Jambaló, Colombia. *Canadian Mineralogist,* Vol. 20, 41-47.

FEININGER T. (1980) Eclogite and related high-pressure regional metamorphic rocks from the Andes of Ecuador. *Journal of Petrology,* Vol. 21, 107-140.

FEININGER T. (1978) Geologic map of western El Oro Province. 1:50000. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

FEININGER T. and SILBERMAN M.L. (1982) K-Ar geochronology of basement rocks on the northern flank of the Huancabamba deflection, Ecuador. *United States Geological Survey, Open-File Report,* No. 83-206, 21pp.

FORTEY N.J. and GILLESPIE M.G. (1993) Internal Assessment of geochemical analyses of igneous rocks from Ecuador. *Report of the British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, UK,* 100pp. (unpublished).

GANSSER A. (1973) Facts and theories on the Andes. *Journal of the Geological Society of London,* Vol. 129, 93-131.

HANMER S. and PASSCHIER C. (1991) Shear-sense indicators: a review. *Geological Survey of Canada, Paper,* No. 90-17, 72pp.

HARRINGTON J. (1957). Varios aspectos de las investigaciones de las posibilidades mineras de las provincias de Azuay y Cañar. Archivo Servicio Nacional de Geología y Minas (Quito), Informe H, 19pp. (unpublished).

HONNOREZ J., MÉVEL C. and MONTIGNY R. (1984) Occurrence and significance of gneissic amphibolites in the Vema fracture zone, equatorial Mid-Atlantic Ridge. *In* Ophiolites and oceanic lithosphere. GASS I.G., LIPPARD S.J. and SHELTON A.W. (editors). *Special Publication of the Geological Society of London,* No. 13, 121-130.

HUTTON D.H.W. and REAVY R.J. (1992) Strike-slip tectonics and granite petrogenesis. *Tectonics,* Vol. 11, No. 5, 960-967.

INEMIN-MISIÓN BELGA (1989) Estudios del yacimiento de cobre porfídico de Chaucha, Ecuador. Open-file report, INEMIN, Quito, 334 pp. (unpublished).

INEMIN-AGCD-ABOS (1988) Inventario, clasificación y metalogenia de las mineralizaciones polimetálicas en el Ecuador. Open-file report, INEMIN, Quito, 278pp. (unpublished).

JAILLARD E., SOLER P., CARLIER G. and MOURIER T. (1990) Geodynamic evolution of the Northern and Central Andes during early to middle Mesozoic times: A Tethyan model. *Journal of the Geological Society of London,* Vol. 147, 1009-1022.

KELSEY C.H. (1965) Calculation of the CIPW norm. *Mineralogical Magazine,* Vol. 34, 275-282.

KENNERLEY J.B. (1980) Outline of the geology of Ecuador. Institute of Geological Sciences. *Overseas Geology and Mineral Resources,* No. 55, 20pp.

KENNERLEY J.B. and ALMEIDA L. (1975) Mapa Geológico del Ecuador, Loja, Hoja 56 (1:100000). Dirección General de Geología y Minas, Quito.

KENNERLEY J.B., ALMEIDA L. and CALLE J. (1973) Mapa geológico del Ecuador, Saraguro, Hoja 55 (1:100000). Dirección General de Geología y Minas, Quito.

KROHE A. (1991) Emplacement of synkinematic plutons in the Variscan Odenwald (Germany) controlled by transtensional tectonics. *Geologische Rundschau,* Vol. 80, No. 2, 391-409.

LE BAS M.J., LE MAITRE R.W., STRECKEISEN A. and ZANETTIN B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology,* Vol. 27, 745-750.

LEGGETT J.K. (editor) (1982) Trench-forearc geology: sedimentation and tectonics on modern and ancient active plate margins. *Special Publication of the Geological Society of London,* No. 10, 576 pp.

LISTER G.S. and SNOKE A.W. (1984) S-C- mylonites. *Journal of Structural Geology,* Vol. 6, 617-683.

LITHERLAND M., ASPDEN J.A. and JEMIELITA R.A. (1994) The metamorphic belts of Ecuador. *Overseas Memoir of the British Geological Survey,* No. 11.

LITHERLAND M. and ASPDEN J.A. (1992) Terrane-boundary reactivation: a control on the evolution of the Northern Andes. *Journal of South American Earth Sciences,* Vol. 5, No. 1, 71-76.

MARTÍNEZ M. (1970) Geología del basamento Paleozoico en las Montañas de Amotape y posible origen del petróleo en las rocas Paleozoicas del noreste de Perú. *Lima 1° Congreso Latinoamericano de Geología,* No. 2, 105-138.

McCOURT W.J., ASPDEN J.A. and BROOK M. (1984) New geological and geochronological data from the Colombian Andes: continental growth by multiple accretion. *Journal of the Geological Society of London,* Vol. 141, 831-845.

MEGARD F. (1989) The evolution of the Pacific Ocean margin in South America north of the Arica Elbow (18°S). *In* The evolution of the Pacific Ocean margins. ZVI BEN-AVRAHAM (editor). *Oxford Monographs on Geology and Geophysics,* Vol. 8, 208-230.

MIYASHIRO A. (1972) Pressure and temperature conditions and tectonic significance of regional ocean floor metamorphism. *Tectonophysics,* Vol. 13, 141-159.

MIYASHIRO A. (1961) Evolution of metamorphic belts. Journal of Petrology, Vo. 2, 277-311.

MORA I.M. (1988) Petrología estructural de la Formación Raspas, Provincia de El Oro. Tesis no publicada, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 159pp. (unpublished).

MOURIER T., LAJ C., MEGARD F., ROPERCH P., MITOUARD P. and FARFÁN-MEDRANO A. (1988) An accreted continental terrane in northwestern Perú. *Earth and Planetary Science Letters,* Vol. 88, 182-192.

MOURIER T. (1988) La transition entre Andes marginales et Andes cordilleraines a ophiolites : évolution sédimentaire, magmatique et structurale du relais de Huancabamba (3° à 8° Lat S ; Nord, Pérou Sud Equateur). Université de Paris-Sud, Centre D'Orsay, PhD thesis, unpublished.

NACSN (1983) North American Commission on Stratigraphic Nomenclature. *American Association of Petroleum Geologists,* Vol. 67, D841-875.

NOBLE S.R., ASPDEN J.A. JEMIELITA R. and LITHERLAND M. (1994) U-Pb geochronology of the Cordillera Real and the El Oro Provinces, Ecuador. *In* Abstracts of the Eighth International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology, Berkeley California, 234.

OWENS B. (1992) Palynological Investigation of Ecuador samples collected by M. Woods, 1991. *Internal Report, British Geological Survey, Biostratigraphy and Sedimentology Group,* WH/92/157R, 34 pp.

PEARCE J.A. (1983) Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. 230-272 in *Continental basalts and mantle xenoliths.* HAWKESWORTH C.J. and NORRY N.J. (editors). (Nantwich, UK: Shiva Publishing).

PEARCE J.A., HARRIS N.B.W. and TINDLE A.G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology,* Vol. 5, 956-983.

PEARCE J.A., LIPPARD S.J. and ROBERTS S. (1984a) Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. *In* Marginal basin geology. KOKELAAR B.P. and HOWELLS N.F. (editors). *Special Publication of the Geological Society of London,* Vol. 16, 77-96.

PEARCE J.A. and CANN J.R. (1973) Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters,* Vol. 19, 290-300.

PITCHER W.S. (1983) Granite type and tectonic environment. 19-40 in *Mountain building processes.* Hsu, K (editor). (London Academic Press).

PITCHER W.S. (1979) The nature, ascent and emplacement of granitic magmas. *Journal of the Geological Society of London,* Vol. 136, 627-662.

PLATT J.P. (1986) Dynamics of orogenic wedges and the uplift of high-pressure metamorphic rocks. *Bulletin of the Geological Society of America,* Vol. 97, 1037-1053.

PLATT J.P. (1987) The uplift of high-pressure-low-temperature metamorphic rocks. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London,* No. A321, 87-102.

REAVY R.J. (1989) Structural controls on metamorphism and syn-tectonic magmatism: the Portuguese Hercynian collision belt. *Journal of the Geological Society of London,* Vol. 146, 649-657.

SEVILLA J. (1976) Geología del sector entre Piedras y Marcabelí, Provincia de El Oro. Tesis inédita, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 55 pp. (unpublished).

STRECKEISEN A. (1976) To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews,* Vol. 12, 1-33.

STRONG D.F. and HANMER S.K. (1981) The leucogranites of southern Brittany: origin by faulting, frictional heating, fluid flux and fractional melting. *Canadian Mineralogist,* Vol. 19, 163-176

SYLVESTER A.G. (1988) Strike-slip faults. *Bulletin of the Geological Society of America,* Vol. 100, 1666-1703

UNDP (1972) Survey of metallic and non-metallic minerals (Phase II). Exploration for metallic minerals in south Ecuador, Loja, the El Oro, Operation No.8, Systematic geochemical exploration and geological reconnaissance. *Technical Report, United Nations Development Programme, New York,* No. 13.

VAN THOURNOUT F., HERTEGEN J. and QUEVEDO L. (1992) Allochthonous terranes in north western Ecuador. *In* Andean geodynamics. OLIVER R.A., VATIN-PERIGNON N., and LAUBACHER G. (editors). *Tectonophysics,* Vol. 205, 205-222.

VAN THOURNOUT F., VALENZUELA G., MERLYN M. and SALEMINK J. (1991) Portovelo-mineralización epitermal en relación con una caldera. *Boletín Geológico Ecuatoriano,* Vol. 2, No. 1, 13-26.

WALLIS F. (1944) Reconnaissance survey of contact between metamorphics and volcanics province of the El Oro. *Río Tinto Zinc (Quito), Internal Report,* 9pp.

WICKHAM S.M. (1987) Crustal anatexis and granitic petrogenesis during low-pressure regional metamorphism: The Trois Seigneurs Massif, Pyrenees, France. *Journal of Petrology,* Vol. 28, No 1, 127-169.

WINCHESTER J.A. and FLOYD P.A. (1977) Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology,* Vol. 20, 325-343.

WOODCOOK N.H. (1986) The role of strike-slip faults at plate boundaries. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London,* No. A317, 13-29.

YARDLEY W.D. (1989) An introduction to metamorphic petrology. Longman Earth Science Series (New York: John Wiley and Sons Inc.).

ZAMORA A. and POTHE DE BALDIS E. (1988) Nuevos aportes al conocimiento del Paleozoico del Ecuador. *Minería Ecuatoriana (INEMIN, Quito),* No. 1, 54.

OGMR 67

The El Oro metamorphic complex, Ecuador: geology and economic mineral deposits

J A Aspden, W Bonilla and P Duque

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY

The full range of Survey publications is available from the BGS Sales Desk at the Survey headquarters, Keyworth, Nottingham. The more popular maps and books may be purchased from BGS-approved stockists and agents and over the counter at the Bookshop, Gallery 37, Natural History Museum, Cromwell Road, (Earth Galleries), London. Sales Desks are also located at the BGS London Information Office, and at Murchison House, Edinburgh. The London Information Office maintains a reference collection of BGS publications including maps for consultation. Some BGS books and reports may also be obtained from HMSO Publications Centre or from HMSO bookshops and agents.

The Survey publishes an annual catalogue of maps, which lists published material and contains index maps for several of the BGS series.

The British Geological Survey carries out the geological survey of Great Britain and Northern Ireland (the latter as an agency service for the government of Northern Ireland), and of the surrounding continental shelf, as well as its basic research projects. It also undertakes programmes of British technical aid in geology in developing countries as arranged by the Overseas Development Administration.

The British Geological Survey is a component body of the Natural Environment Research Council.





ISBN 0 85 272242 7

Price code GZ